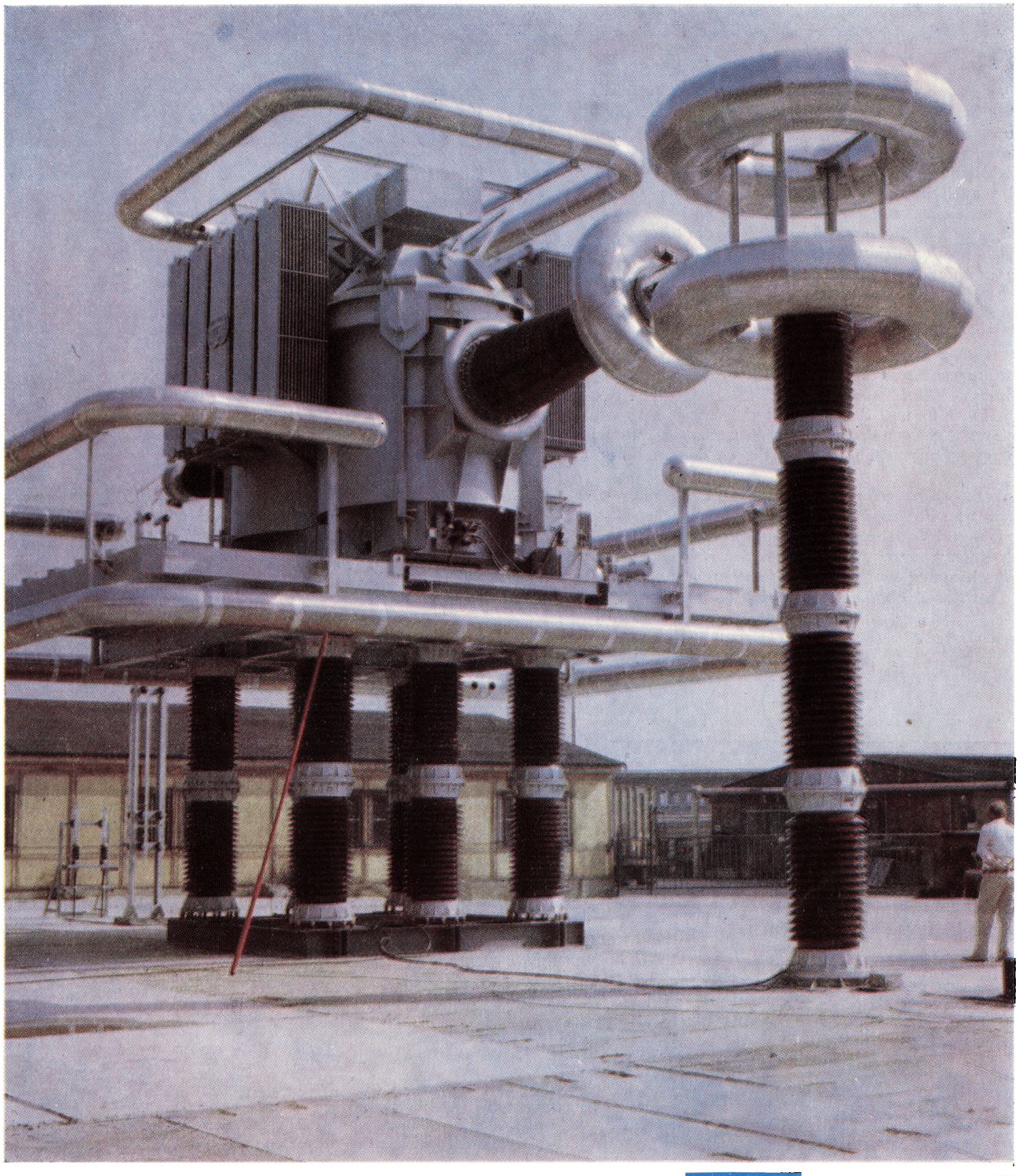
ELEKTRIE 4|88

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013—5399



Moderne Prüftechnik für die Elektroenergieübertragung

TU DRESDEN

TUR DRESDEN

0120246

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

Hubportal für die Montage der Wechselspannungsprüfanlage 3 MV

Komplizierteste Aufgabe bei der Montage der Wechselspannungsprüfanlage 3 MV[1]) ist das Heben der Prüftransformatoren (Masse etwa 100 t) bis auf eine Höhe von 20 m. Mobile Kräne stehen für derartige Lasten und Hubhöhen im allgemeinen nicht zur Verfügung, außerdem gewährleisten sie das Absetzen der Last auf den Isolieraufbau aus Porzellanstützern nicht stoßfrei und ohne Querkräfte.

Im Auftrag des VEB Transformatoren- und Röntgenwerkes „Hermann Matern" Dresden wurde für diesen Montageprozeß vom Forschungszentrum Fluidtechnik Erdmannsdorf der Bauakademie der DDR ein Hubportal entwickelt und gebaut (Bild 1).

Die Hubtraverse, an der der Transformator aufgehängt ist, kann mittels einer Schritthubhydraulik gehoben oder gesenkt werden. Die Traverse bietet auch hinreichend Justiermöglichkeiten, um den Transformator an allen Auflagestellen so genau und gleichmäßig auf das Isoliergerüst aufzusetzen, daß horizontale Kraftkomponenten beim Aufsetzen vermieden werden.

Die Last ruht auf 4 Fluidtragplatten (Bild 2), die eine reibungsarme Gleitbewegung auf einer Stahlgleitbahn mit Seitenbord mittels hydraulischer Verschubeinrichtung durch ein Luftpolster gewährleisten.

Der Transformator kann mit dieser Hubeinrichtung von einem Tiefladewagen aufgenommen und genau bis an seinen Montagestandort gefahren werden (Bild 3).

Umfangreiche Kontroll- und Sicherheitsvorrichtungen gewährleisten zusammen mit 2 getrennten Steuereinrichtungen für Hub- und Verschiebebewegung auf mitfahrenden Podesten den gefahrlosen Transport der Last.

Das Hubportal ermöglicht außer der Montage auch Wartungs- und Reparaturarbeiten an Freiluft-Prüfanlagen, es ist darüber hinaus für das Aufstellen und Verfahren großer und schwerer Prüflinge in einem Freiluft-Hochspannungsprüffeld geeignet. Schließlich kann es auch zur Aufhängung von Freileitungsisolierungen, Leitungsnachbildungen usw. für Prüfzwecke verwendet werden.

[1]) Siehe hierzu den Beitrag „Wechselspannungsprüfanlage 3 MV/12,6 MVA — ein Beitrag zur Höchstspannungs-Energieübertragung" auf den Seiten 125 bis 127 dieses Heftes.

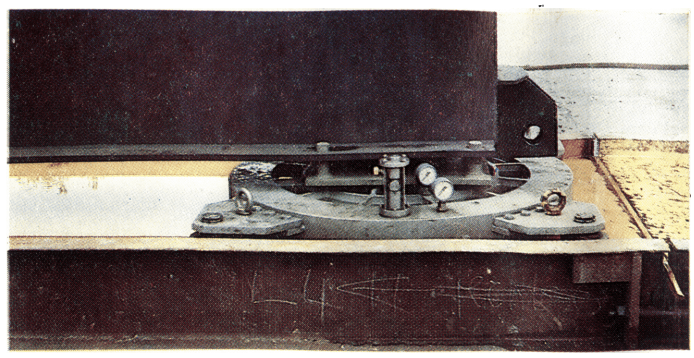


Bild 2. Portalfuß mit Fluidtragplatte und Gleitbahn

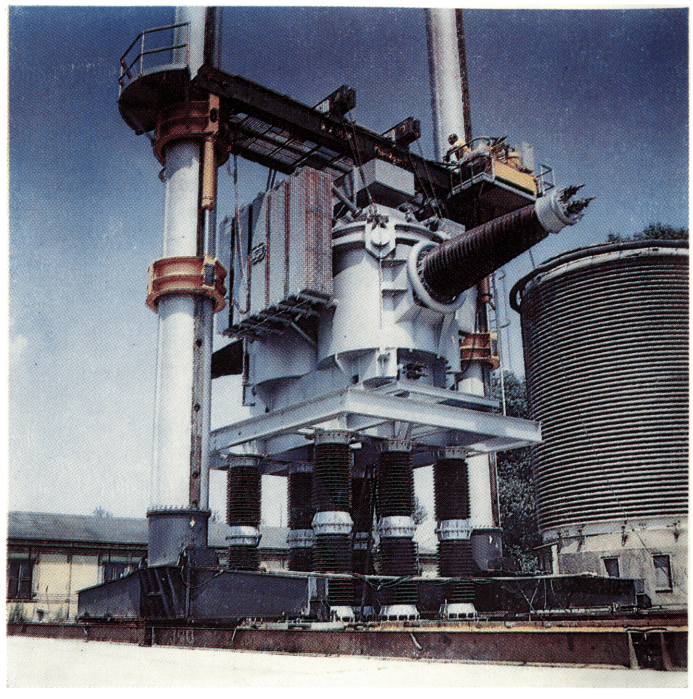
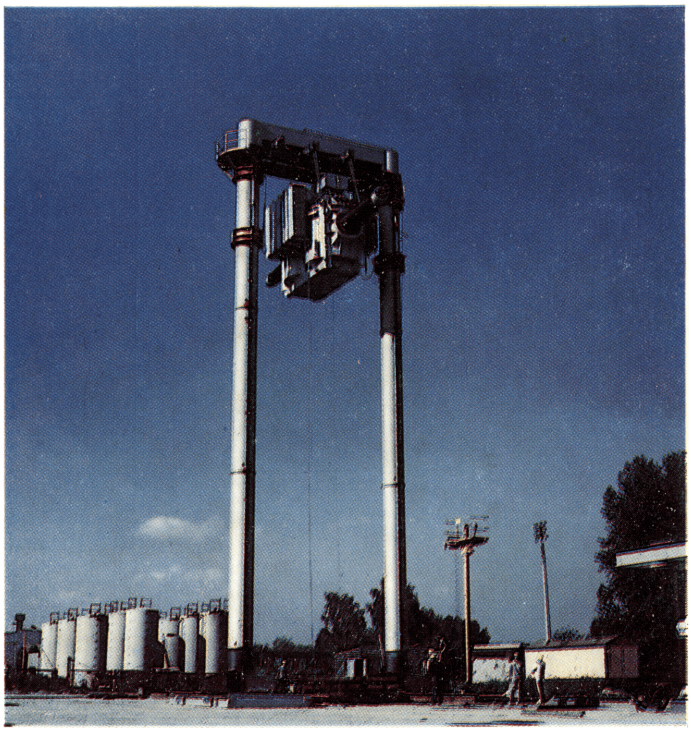


Bild 3. Absetzen des Prüftransformators 12600 kVA/1200 kV mittels Hubportal auf dem Isolieraufbau 600 kV

Bild 1. Hubportal 120 t mit Prüftransformator 12600 kVA/1200 kV



Technische Daten

Tragfähigkeit	120 t
max. Hubhöhe	19 m (Unterkante Prüftransformator)
Portalhöhe	27,5 m
Portalweite	7,6 m
Schritthub	1,2 m
Anschlagart	Last hängend (4 Anschlagpunkte)
mittl. Hubgeschwindigkeit	0,22 m/min
mittl. Fahrgeschwindigkeit	0 · · · 3,6 m/min
Steuerung	elektrisch/hydraulisch/pneumatisch
Einsatztemperatur	— 10 °C · · · + 40 °C

Ihre Anfragen richten Sie bitte an:

VEB Transformatoren- und Röntgenwerk
„Hermann Matern"
Betrieb des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau
Overbeckstraße 48, Dresden, 8030

Exporteur:

AHB Elektrotechnik Export-Import
Alexanderplatz (Haus der Elektrotechnik)
Berlin, 1026

4|88 ELEKTRIE

42. Jahrgang

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik

ISSN 0013–5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Goldene Ehrenplakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. P.-K. Budig · Dr. sc. techn. G. Burkhard · Dr.-Ing. D. Flügge · Obering. K. Friedel · Prof. Dr. sc. techn. J. Hoffmann · Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick · Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e. h. K. Pommer · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G. Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. K. Hannella, Ilmenau · Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden

Titelbild

Das Bild zeigt die Wechselspannungs-Prüfanlage 1200 kV/10 A, die im VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" neu entwickelt wurde. Sie bildet die 1. Kaskadenstufe der Maximalvariante 3000 kV/4,2 A. Weitere Informationen zu der neuen TuR-Hochleistungs-Baureihe Wechselspannungs-Prüfanlagen finden Sie in den Beiträgen auf den Seiten 125 bis 132 dieses Heftes.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

Inhalt

Seite

Aktuelle Information 122

Böhme, H.; Eberhardt, M.

Grundlagenforschung zur Hochspannungs-Prüftechnik 123

Fachaufsätze

Frank, H.; Spiegelberg, J.

Wechselspannungs-Prüfanlage 3 MV/12,6 MVA — ein Beitrag zur Höchstspannungs-Energieübertragung 125

Dietrich, M.; Rausendorf, S.

Gestaltung der Elektroden der 3-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage 127

Schrader, W.; Coors, P.

Schaltspannungszusatz zur 3-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage 131

Hauschild, W.; Speck, J.; Bachmann, H.; Baronick, M.

Hard- und Software für rechnergestützte Hochspannungsprüfungen mit Wechsel- und Gleichspannung 133

Pilling, J.; Lemke, E.

Zur Bemessung des Primärblitzschutzes von Umspannwerken auf der Grundlage des Streamer-Leader-Modells langer Luftfunkenstrecken 136

Hauschild, W,; Wolf, J.; Schwarz, J.

Vor-Ort-Prüfung einer SF_6-isolierten Schaltanlage mit oszillierender Blitzspannung 138

Rau, R. S. N.

Anodenprozesse in Vakuum-Lichtbogen 142

Großmann, S.; Böhme, H.; Löbl, H.

Zum Langzeitverhalten von Steckverbindungen der Elektroenergietechnik — Widerstandsverlauf 143

Umschau

Fachtagungen 148

Kurzberichte 153

Aus anderen Zeitschriften 156

Bücher 158

AKTUELLE INFORMATION

Lokale Rechnernetze

Problemseminar im Rahmen der Tage der Wissenschaft und Technik vom 6. bis 9. September 1988

Zeit: 7. September 1988
Ort: IH Wismar
Veranstalter: IH Wismar, Abt. Rechenzentrum

Inhaltliche Schwerpunkte

— Prinzipien und Gestaltung von Rechnernetzen
— Lokale Rechnernetze als Bestandteil einer Software-Entwicklungstechnologie
— Rechnernetze in speziellen Anwenderlösungen

Die Zusammenarbeit zwischen Rechnern unterschiedlicher Leistungsklassen (BC, PC, SKR, ESER) ist erklärtes Ziel vieler Anwender. Die Schaffung einheitlicher, rechnertypunabhängiger Software-Schnittstellen ist dabei eine wichtige Voraussetzung für die rationelle Anwendungsprojektierung. Aus dieser Sicht führt das Rechenzentrum das Problemseminar durch.

Anfragen

Ingenieurhochschule Wismar
Tagungsbüro
Philipp-Müller-Straße
Wismar
2400
Kissing, Wismar EA 2754

Elektroinstallation im Wohnungsbau, in der Altbaumodernisierung, im Gesellschafts- und Industriebau

5. Fachtagung Installationstechnik mit internationaler Beteiligung aus den RGW-Ländern

Zeit: 29. und 30. September 1988
Ort: Dresden
Veranstalter: FV Elektrotechnik in der KDT; FUA 6.1 „Installationssysteme"

Inhaltliche Schwerpunkte

Im Mittelpunkt dieser Tagung steht der praxisbezogene Informations- und Erfahrungsaustausch zur Senkung des Produktionsverbrauches bei der Elektroinstallation, der Verbesserung der Funktions- und Betriebssicherheit der Anlagen, der Einführung neuer Wirkprinzipien und der Anwendung von Schlüsseltechnologien und konzentriert sich auf folgende Schwerpunkte:

— Stand und Entwicklungstendenzen in der Installationstechnik im Wohnungs-, Gesellschafts- und Industriebau
— Weiterentwicklung und Vereinheitlichung der Installationssysteme in Abstimmung mit der bautechnischen Entwicklung
— Prüfmethoden in der Installationstechnik
— Anschluß- und Verbindungstechnik
— Stand und Entwicklungstendenzen bei Installationsgeräten, Kästen, Verteilungen und Einbaugeräten
— Stand und Entwicklungstendenzen von Leitungen und Kabeln
— Befestigungstechnik
— EDV-gestützte Projektierung und technologische Vorbereitung

Anfragen

und Teilnahmemeldungen sowie Vortragsmeldungen (maximal 10 Zeilen, Termin 29. März 1988) sind schriftlich an den FV Elektrotechnik zu richten.
Kammer der Technik
Präsidium
FV Elektrotechnik
Postfach 1315
Berlin
1086
H. Hoppe, Berlin EA 2753

Beschleunigte Einführung der Schlüsseltechnologien sowie Qualitätsbewertung und Zertifizierung von Erzeugnissen der Elektrotechnik/Elektronik auf der Basis internationaler Standards

6. Fachtagung Standardisierung

Zeit: 10. und 11. November 1988
Ort: Leipzig, Brühlzentrum
Veranstalter: Fachverband Elektrotechnik in der KDT, Kommission Standardisierung

Inhaltliche Schwerpunkte

- Beitrag zur beschleunigten Einführung der Schlüsseltechnologien
  — CAD, CAM, CAQ
  — Probleme der Software-Standardisierung in der DDR
  — Lichtwellenleiter — Nachrichtenübertragung
- Beitrag der Standardisierung zur Verbesserung der Devisenrentabilität im Außenhandel
  — Mitarbeit der DDR im RGW, der IEC, der ISO und anderen internationalen Organisationen
  — Mitwirkung in internationalen Zertifizierungsorganen
  — Information der Kunden über erworbene Zertifikate durch Messen, Ausstellungen, Kataloge, Verpackungen, Inserate, Betriebsanleitungen

Anfragen

und Teilnahmemeldungen sowie Vortragsanmeldungen (Termin 15. Juni 1988) sind schriftlich an den FV Elektrotechnik zu richten.
Kammer der Technik
Präsidium
FV Elektrotechnik
Postfach 1315
Berlin
1086
H. Hoppe, Berlin EA 2752

KomCom '89

Wissenschaftliche Fachtagung Kommunikations- und Computertechnik '89

Zeit: 14. bis 16. Februar 1989
Ort: TU Dresden
Veranstalter: Sektion Informationstechnik der Technischen Universität Dresden

Inhaltliche Schwerpunkte

— Digitale Vermittlungstechnik
— Mikroprozessor- und Mikrocomputertechnik
— Lokale Kommunikationsnetze
— Funksignalübertragung und -verarbeitung
— Digitale Signalverarbeitung/Signalprozessoren
— Mikroakustische Signalverarbeitung
— Zuverlässigkeit von Kommunikations- und Computersystemen

Anfragen

Technische Universität Dresden
Vorbereitungskomitee „KomCom '89"
Mommsenstr. 13
Dresden
8027
E. Krocker, Dresden EA 2756

Galvanotechnik

10. Internationale Fachtagung

Zeit: 3. bis 5. Mai 1989
Ort: Berlin
Veranstalter: Fachverband Elektrotechnik in der Kammer der Technik; Fachausschuß Galvanotechnik Halle/Leipzig, Berlin; Kombinat VEB Lokomotivbau — Elektrotechnische Werke „Hans Beimler"

Inhaltliche Schwerpunkte

- Optimierung des komplexen galvanischen Beschichtungsprozesses
  — Rechnergestützte Fertigungsvorbereitung und Projektierung
  — Prozeß- und Transportsteuerung einschließlich Software-Entwicklung
  — Periphere Teilsysteme zur schadstoffarmen Abwasser- und Abluftbehandlung sowie Werkstoffrückgewinnung
- Neue Verfahren der Hochleistungsgalvanik
  — Dekorativer Korrosionsschutz
  — Verschleißschutz und Regenerierung von Bauteilen
- Galvanische Abscheidung in der Mikroelektronik
  — Hochgeschwindigkeitsabscheidung (stromlos und elektrolytisch)
  — Bunt- und Edelmetalleinsparung
  — Selektionsbeschichtungen einschließlich laserinduzierte Abscheidung

Anfragen

und Teilnahmemeldungen (Termin 20. Juni 1988) sind schriftlich an den FV Elektrotechnik zu richten.
Kammer der Technik
Präsidium
Fachverband Elektrotechnik
Postfach 1315
Berlin
1086
H. Hoppe, Berlin EA 2775

Grundlagenforschung zur Hochspannungs-Prüftechnik

Ein Beitrag
zum 60. Geburtstag
von Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. *Wolfgang Mosch*

„3-Millionen-Volt-Wechselspannungs-Prüfanlage" — ein Thema, so wichtig und interessant, daß die Fachzeitschrift ELEKTRIE ihm ein besonderes Heft einräumt.

Wichtig weil diese Prüfanlagen der Schlüssel für eine neue Generation von Höchstspannungs-Übertragungsleitungen über weite Entfernungen mit Isolationsspannungen von etwa 1,8 MV sein werpen. Damit wird die bisherige Forschungszusammenarbeit mit der Sowjetunion, insbesondere mit dem Leningrader Polytechnischen Institut (LPI), dem Allunionsinstitut für Gleichstrom Leningrad (WNPIIT) und dem Allunionsinstitut für Elektrotechnik „W. I. Lenin", Moskau (WEI) weiter vertieft, wie es dem Geist des „Komplexprogrammes des wissenschaftlich-technischen Fortschritts der Mitgliedsländer des RGW bis zum Jahre 2000" entspricht.

Interessant, weil diese Spannungen von 3 MV (Scheitelwert $\hat{U} = 4{,}25$ MV) in einer solchen Höhe liegen, an die selbst die progressivsten Vertreter einer zurückliegenden Ingenieurgeneration noch nicht dachten. Zitieren wir J. Biermanns aus seinem 1949 erschienenen und in den Grundgedanken noch heute gültigen Buch „Energieübertragung auf große Entfernungen" [1]:" ... gewinnen wir den Eindruck, daß dem Drehstrom, sofern die Hochspannungstechniker nicht ganz neue Wege finden, bezüglich der Übertragungsspannung ... kaum übersteigbare Grenzen gezogen sind, denen wir uns mit schnellen Schritten nähern. Ja, schon der nächste Schritt auf 400 kV Übertragungsspannung scheint uns bereits hart an diese Grenze zu bringen".
Inzwischen gibt es Übertragungsspannungen bis 1,2 MV und solche von etwa 1,8 MV werden mit diesen 3-MV-Prüfanlagen vorbereitet. Die „neuen Wege", die die Hochspannungstechniker zu finden haben, müssen aber immer zuerst die Ingenieure beschreiten, die Prüfanlagen schaffen — zwar nicht konfrontiert mit allen Problemen, die z. B. für eine Freileitungsisolierung zu lösen sind, aber dafür gefordert, viel höhere Spannungen zu beherrschen, als später zur Übertragung verwendet werden.
Dem VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" ist es seit Jahrzehnten gelungen, diese „neuen Wege der Hochspannungstechniker" erfolgreich zu finden. Davon konnten sich auch die Leser der ELEKTRIE überzeugen. Fünf Schwerpunkthefte zur Hochspannungsprüftechnik sind seit 1981 erschienen (Hefte 7/1981; 4/1983; 10/1984; 6/1986 und dieses vorliegende Heft). Alle Hefte legen Zeugnis davon ab, wie in der Einheit von Grundlagenforschung und technischer Entwicklung Erfolge zu erzielen sind.
Der 60. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Wolfgang Mosch am 10. Mai 1988 ist nun eine willkommene Gelegenheit, diese Einheit im Wirken des Jubilars nachzuweisen und ihn damit zu ehren.

In der Person von Prof. Mosch vereinen sich glücklich mehrere Komponenten: der Blick für das Wesentliche und die Fähigkeit, das Erkannte mit einer Reihe von Schülern zu bearbeiten, zu lösen und die Lösung rasch und effektiv in die Praxis der Hochspannungsprüftechnik umzusetzen.

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Wolfgang Mosch, geb. 10. Mai 1928 Inhaber des Lehrstuhls und Leiter des Bereichs Hochspannungstechnik an der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden, Dekan der Faultät für Elektrotechnik/Elektronik, Korrespondierendes Mitglied der Akademie der Wissenschaften der DDR, Ehrendoktor des Moskauer Energetischen Instituts.

Begründet sind diese Fähigkeiten im Entwicklungsgang des Jubilars. Nach einer Berufsausbildung als Elektromechaniker bis 1945 nutzte er 1947 bis 1948 die neuen Möglichkeiten, sich auf einer Vorstudienanstalt der Universität Leipzig auf das Studium der Elektrotechnik an der Technischen Hochschule Dresden (1948 bis 1952) vorzubereiten. Als Assistent und Oberassistent bei Prof. Obenaus promovierte er 1958, war 1960 bis 1964 Haupttechnologe im VEB Transformatoren- und Röntgenwerk Dresden und übte 1964 bis 1968 die Funktion des Technischen Direktors aus. In diese Zeit fällt die Inbetriebnahme der damals in viele Länder gelieferten 2,25-MV-Wechselspannungs-Prüfanlagen, einem Vorläufer der heutigen 3-MV-Prüfanlagen. Für diese Leistung wurde 1972 ein Kollektiv von Wissenschaftlern der UdSSR und der DDR, zu denen Prof. Mosch gehört, mit dem Nationalpreis ausgezeichnet. 1968 wurde der Jubilar auf den Lehrstuhl Hochspannungstechnik der Technischen Universität Dresden berufen.

Verfolgen wir nun, welche wissenschaftlichen Beiträge an dem von Prof. Mosch geleiteten Bereich zur Entwicklung von 3-MV-Wechselspannungs-Prüfanlagen geleistet wurden. Entsprechend einem oft von ihm geäußerten Grundsatz läßt sich das besonders an Hand der dazu unter seiner Leitung abgeschlossenen Dissertationen nachweisen.

Etwa Ende der 60er Jahre, dem Zeitpunkt der Berufung von W. Mosch auf den Lehrstuhl Hochspannungstechnik der Technischen Universität Dresden, war der Erkenntnisstand zum Isoliervermögen von Luftfunkenstrecken und damit zur äußeren Isolierung von Hochspannungs-Prüfanlagen wie folgt einzuschätzen:

Durch die Arbeiten von Obenaus [2] und Lemke [2] [3] [4] war — ausgehend von einer zu dieser Zeit viel diskutierten Erscheinung, dem Minimum der Durchschlagspannung abhängig von der Stirnzeit der Spannungsimpulse — ein Modell für den Durchschlag von meterlangen Luftfunkenstrecken mit stark inhomogenem Feld geschaffen worden. Das Modell enthielt die bis heute gültigen und international anerkannten Vorstellungen vom vorentladungsbestimmten Durchschlag aus der Reihenschaltung von Streamer und Leader mit unterschied-

lichem Längs-Spannungsbedarf. Es ermöglicht auf der Grundlage eines Grenzelektrodenabstandes für den Streamer-Leader-Übergang die Berechnung der Durchschlagspannung langer Luftfunkenstrecken. Daraus folgte, daß es immer schwieriger bzw. aufwendiger wird, hohe Spannungen zu beherrschen, und es zeichnet sich eine neue „Grenze" (im Sinne der Einschätzung von J. Biermanns) ab. Aus der Dissertation von Frank [6] war bekannt, daß Überspannungen (u.U. mit kritischen Stirn-Steilheiten) maßgebend für die Dimensionierung von Wechselspannungs-Prüfanlagen sind. Während des Einsatzes der 2,25-MV-Prüfkaskade hatte sich — vor allem durch die Arbeiten am Leningrader Polytechnischen Institut — gezeigt, daß man mit Wechselspannungs-Prüfanlagen vorteilhaft auch Schaltspannungsimpulse erzeugen kann (vergl. hierzu den Beitrag von W. Schrader u.a. im vorliegenden Heft).

Insgesamt ergab sich aus dem Erkenntnisstand von 1970, daß die Gestaltung der äußeren Luftisolierung von Prüfanlagen eine wesentliche Voraussetzung für deren Weiterentwicklung zu höheren Abgabespannungen ist. Verfolgen wir nachstehend die wesentlichen Schritte zur Lösung dieses Problems.

Mit der Dissertation von Bürger [7] [8] [9] [10] wurde für großflächige, schwach gekrümmte Elektroden (Abschirmelektroden von Prüfanlagen) der Streamer-Leader-Übergang näher untersucht. Er erkannte, daß sich Leader erst dann entwickeln, wenn die Streamer eine kritische Intensität und Reichweite erreichen. Damit konnte der Einfluß des Homogenitätsgrades des Grundfeldes auf die Leaderentwicklung und die mögliche Erhöhung der Durchschlagspannung abgeschätzt werden. Neue Grundlage für die Dimensionierung von Abschirmelektroden war — neben der bisher üblichen Höchstfeldstärke an den Elektroden — nun der Streamer-Leader-Übergang, gekennzeichnet durch die Intensität und Reichweite der Streamerentladung. Diese Dimensionierungsgrundlage wurde durch weitere Dissertationen verfeinert und quantifiziert.

Engelmann [11] [12] untersuchte an Funkenstrecken mit gestörtem, schwach inhomogenem Grundfeld, wie sich die Entladungen räumlich und zeitlich entwickelten und präzisierte den technisch nutzbaren Bereich stabiler Streamer, d.h. ohne den Übergang zur Leaderentladung. Seine Arbeiten unterstrichen auch den bereits von Bürger erkannten, stark statistischen Charakter der Erscheinungen.

Laub [13] untersuchte den Einfluß der Wirkdauer der Spannung und deren Verlauf auf die Zünd- und Durchschlagwahrscheinlichkeit von Funkenstrecken, wie sie an Prüfanlagen auftreten.

Damit lagen Ende der 70er Jahre ausreichende Modellvorstellungen und Ergebnisse an Grundanordnungen vor, die auf praktische Elektrodenanordnungen von Prüfanlagen zu übertragen waren. Das gelang Dietrich [14] [15] [16] [17] indem er die physikalischen Erkenntnisse zum Streamer-Leader-Übergang mit den Parametern des elektrostatischen Feldes kombinierte, wie es sich zwischen den Elektroden von Prüfanlagen ausgebildet. Zugleich berücksichtigte er über das sog. Vergrößerungsgesetz der Hochspannungs-Isoliertechnik den Einfluß der Elektrodenfläche auf die Wahrscheinlichkeit der Entladungszündung [23]. Mit diesen Überlegungen können Elektroden bisheriger Prüfanlagen optimiert und solche für neue Anwendungsbereiche (Elektroden für Impulsspannungsanlagen mit etwa 7 MV Abgabespannung, 3-MV-Wechselspannungs-Prüfanlagen) dimensioniert werden (vergleiche hierzu den Beitrag von Dietrich und Rausendorf in diesem Heft).

Nachdem nun die Grundlagen für die Gestaltung von großflächigen Elektroden für Hochspannungsprüfanlagen gelegt waren, entstand die Frage, ob die technologisch schwierig zu beherrschenden großflächigen glatten Abschirmelektroden durch anderes gestaltete ersetzt werden können. Maucksch [18] [19] untersuchte in diesem Zusammenhang, ob die entladungstabilisierende Glimmentladung (Ultrakorona), wie sie an sauberen, dünnen Drahtelektroden beobachtet wird, für die Gestaltung von Elektroden ausnutzbar ist. Er fand, daß Drahtgebilde in der Form von Abschirmelektroden hinsichtlich der Ausbildung der Glimmentladung sowohl für Langzeit-Wechselspannungs-Belastung als auch für Impulsbelastung nicht mit ausreichender Zuverlässigkeit einsetzbar sind, daß aber dünne Drähte auch für sehr hohe Spannungen geeignete Verbindungen zwischen Prüfanlage und Prüflingen sein können.

Pflicke [20] [21] [22] widmete sich der Frage, wie großflächige Elektroden aus technologisch günstigeren Teller-Segment-Elektroden aufgebaut werden können und welche Form die einzelnen Teller, insbesondere deren Rand, haben müssen, damit eine teilentladungsfreie Prüfanlage entwickelt werden kann.

Die äußere Luftisolierung von Wechselspannungs-Prüfanlagen ist selbstverständlich nur ein — wenn auch sehr wichtiges — technisches Problem, das gelöst werden mußte, um Prüfanlagen mit extremen Parametern zu konstruieren. In vorliegendem Heft findet der Leser interessante Ausführungen, welche anderen ingenieurtechnischen Leistungen nötig waren, um das technische Ziel zu erreichen. Dabei stehen nicht nur Prüfanlagen mit extremen Paramtern im Mittelpunkt sondern auch Erfahrungen zur Ausrüstung ganzer Prüffelder, zu Prüfverfahren, zur Auswertung von Prüfdaten u.ä.

Ehemalige Mitarbeiter und Schüler von Prof. Mosch nutzen die Gelegenheit, ihre Beiträge dem Jubilar zu widmen, um so ihre Verbundenheit mit ihm und ihre guten Wünsche für weitere berufliche Erfolge im Bemühen um die Hochspannungs-, Prüf- und Isoliertechnik und für persönliches Wohlergehen auszudrücken.

Prof. Dr. sc. techn. Helmut Böhme,
Doz. Dr. sc. techn. Martin Eberhardt

Literatur

[1] Biermanns, J.: Energieübertragung auf große Entfernungen. Karlsruhe 1949; (S. 171)
[2] Obenaus, F.: Über die funkenartigen Vorentladungen beim Wechselspannungsdurchschlag von meterlangen Funkenstrecken. ELEKTRIE, Berlin 18 (1964) 7, S. 199—201 und CIGRE-Ber. 302/1964
[3] Lemke, E.: Durchschlagspannung und Schlagweite-Durchschlagspannungs-Kennlinien von inhomogenen Luftfunkenstrecken bei Schaltspannung. Diss. TU Dresden 1967
[4] Lemke, E.: Die Streamerentwicklung in Luft bei positiver Impulsspannung. ELEKTRIE 22 (1968) 4, S. 166—168
[5] Lemke, E.: Die Leaderentladung und ihre Bedeutung für das Durchschlagverhalten langer Luftfunkenstrecken. WZE 13 (1969) S. 77 bis 91
[6] Frank, H.: Überspannungen an Wechselspannungsprüfanlagen durch transiente Vorgänge. Diss. TU Dresden 1970
[7] Bürger, W.: Beitrag zum Entladungsverhalten großflächiger, schwach gekrümmter Elektroden in Luft bei großen Schlagweiten. Diss. TU Dresden 1976
[8] Mosch, W.; Lemke, E.; Bürger, W.: Zur Dimensionierung von Abschirm-Elektroden für Prüfanlagen sehr hoher Spannung. Wiss. Z. d. TU Dresden 25 (1976) 4, S. 871—873; II. Intern. Symp. Hochsp.-Technik. Zürich 1975, S. 560—564
[9] Bürger, W.: Zum Entladungsverhalten und zur Dimensionierung großflächiger schwach gekrümmter Elektroden in Luft für sehr hohe Spannungen. ELEKTRIE 82 (1978) 5, S. 260 bis 262
[10] Lemke, E.; Bürger, W.: Zur Abschätzung der Durchschlagspannung langer Luftfunkenstrecken unterschiedlicher Feldkonfiguration bei positiven Schaltspannungen. ELEKTRIE, Berlin 34 (1980) 6, S. 295—297
[11] Engelmann, E.: Beitrag zum Entladungsverhalten großflächiger störstellenbehafteter Elektroden in Luft bei Schaltspannung. Diss. TU Dresden 1981
[12] Engelmann, E.: Entladungsphänomene in meterlangen Luftfunkenstrecken bei positiver Schaltimpulsspannung. Plasmaphysik 22 (1982) 1, S. 83—93
[13] Laub, S.: Untersuchungen zum Einfluß der Wirkdauer und des zeitlichen Verlaufes der Spannung auf das Entladungsverhalten großflächiger, störstellenbehafteter Elektrodenanordnungen in Luft. Diss. TU Dresden 1982
[14] Dietrich, M.: Dimensionierung von großflächigen Elektroden für Hochspannungsprüfanlagen mit Abgabespannungen im Mega-Volt-Bereich. Diss. TU Dresden 1983
[15] Dietrich, M.; Engelmann, E.; Lemke, E.; Mosch, W.: Ein Kriterium für die Zündung von Leaderentladungen in langen Luftfunkenstrecken. Wiss. Z. d. TU Dresden 31 (1982) 4, S. 147—149
[16] Dietrich, M.; Hauschild, W.; Mosch, W.; Lemke, E.: Anwendung des Vergrößerungsgesetzes bei der Dimensionierung großflächiger Elektroden in Luft. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 4, S. 173—176
[17] Lemke, E.; Mosch, W.; Dietrich, M.; Spiegelberg, J.: Zur Dimensionierung von Elektrodenanordnungen in Luft bei sehr hohen elektrischen Spannungen. ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 10, S. 371—373
[18] Maucksch, S.: Beitrag zum Entladungsverhalten von segmentierten Elektroden und Drahtelektroden in Luft bei Beanspruchung mit 50-Hz-Wechsel- und positiver Schaltspannung. Diss. TU Dresden 1981
[19] Mosch, W.; Lemke, E.; Maucksch, S.: Zum Entladungsverhalten von Segmentelektroden in Luft bei 50-Hz-Wechselspannung. ELEKTRIE, Berlin 36 (1982) 8, S. 410—413
[20] Pflicke, W.: Zur Zündung und Charakteristik von Teilentladungen an Teller-Segmentelektroden. Diss. TU Dresden 1986
[21] Pflicke, W.; Lemke, E.: Zur Problematik von Teilentladungen an Teller-Segmentelektroden ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 6, S. 217 bis 219
[22] Pflicke, W.; Lemke, E.: Zur Leadergründung an großflächigen Hochspannungselektroden in Luft bei positiver Schaltimpulsspannung. ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 6, S. 208—211
[23] Mosch, W., u.a.: Statistical Design of Large UHV Electrodes in Air. IEE Proc. A. 133 (1986) 8, S. 547—551

EA 2741

Wechselspannungs-Prüfanlage 3 MV/12,6 MVA – ein Beitrag zur Höchstspannungs-Energieübertragung

H. Frank, KDT; J. Spiegelberg, KDT; Dresden

Mitteilung aus dem VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. *Wolfgang Mosch* zum 60. Geburtstag gewidmet

Wechselspannungs-Prüfanlagen sind nach wie vor eines der wichtigsten Forschungsgrundmittel für alle Hochspannungsprüffelder, die sich mit der Weiterentwicklung der Elektroenergieübertragung und der dazu erforderlichen elektrotechnischen Betriebsmittel befassen. Mit den bisher größten Wechselspannungs-Prüfanlagen mit einer Nennspannung von 2,25 MV und Leistungen bis 4,9 MVA [1] konnten alle erforderlichen Forschungsarbeiten zur Einführung der Übertragungsspannung 1150 kV in der UdSSR (1986) durchgeführt werden. Grundlagenforschungen zur Verwendung noch höherer Übertragungsspannungen im Bereich von 1800 kV und darüber, wie sie in der UdSSR auf Grund der großen Energiemengen und Übertragungslängen benötigt werden, erfordern nunmehr eine neue Generation Wechselspannungs-Prüfanlagen mit wesentlich höheren Abgabespannungen und Leistungen.

Im folgenden wird eine neue Typenreihe leistungsstarker Wechselspannungs-Prüfanlagen vorgestellt, die sowohl für Forschungsarbeiten zur Höchstspannungs-Energieübertragung als auch für Prüflinge mit hoher Leistungsaufnahme (Hochspannungskabel) und für Verschmutzungsprüfungen eingesetzt werden kann.

1. Technische Konzeption für eine neue Generation von Wechselspannungs-Prüfanlagen

Ausgangspunkt für die Konzeption der neuen Typenreihe Wechselspannungs-Prüfanlagen war die Maximalvariante 3000 kV/12,6 MVA, die den Prüfanforderungen für eine Drehstrom-Übertragungsspannung von 1800 kV entspricht.

Als optimale Lösung für die Realisierung einer Spannung von 3000 kV erwies sich die Kaskadenschaltung von 3 gleichen Prüftransformatoren mit je 1200 kV Nennspannung. Neben der 1200-kV-Ausführung wurden noch Varianten für 1000 kV und 800 kV Nennspannung vorgesehen (Tafel 1); alle Ausführungen sind für eine Leistung von 12 MVA ausgelegt.

Die Transformatoren wurden für Dauerbetrieb dimensioniert und sind damit auch für die in zunehmendem Maße erforderlichen Langzeit-Untersuchungen an Versuchsleitungen, Kabeln sowie an anderen Betriebsmitteln der Energieübertragung einsetzbar. Wichtig insbesondere für Fremdschichtuntersuchungen sind die hohen Kurzschlußströme, die in Verbindung mit einem neu entwickelten 9,6-MVA-Stellaggregat erreichbar sind, z. B. 45 A mit dem 800-kV-Prüftransformator. Andererseits ist die Nennspannung eines einzelnen 1200-kV-Transformators bereits ausreichend, um die Leiter-Erde-Isolation einer 1800-kV-Versuchsleitung mit 115% ihrer Nennspannung im Dauerversuch zu betreiben.

Die Prüftransformatoren können sowohl einzeln als auch in Kaskadenschaltungen mit 2 oder 3 Stufen eingesetzt werden (Tafel 2). Gegenüber den einfachen Kaskadenschaltungen mit 2 oder 3 Stufen (Varianten 11 oder 111) kann eine weitere Erhöhung der Strombelastbarkeit und des Kurzschlußstromes durch 2 parallele Prüftransformatoren in der untersten Kaskadenstufe erreicht werden (Varianten 21 und 211). Höhere Betriebs- und Kurzschlußströme bei kleineren Spannungen lassen sich auch durch zwei- oder einstufigen Teilbetrieb der dreistufigen Variante 111 mit den Parametern der Varianten 11 oder 1 erzielen. Darüber hinaus kann mit 3 Transformatoren auch eine Drehstrom-Sternschaltung (Variante 3~) mit einer verketteten Spannung von 2080 kV realisiert werden.

Zur Einspeisung der Prüftransformatoren mit einer stufenlos stellbaren Spannung wurde aus dem bisher größten TuR-Stellaggregat von 3,2 MVA ein dreistufiges Stellaggregat von 9,6 MVA Gesamtleistung entwickelt. Darüber hinaus ist es erforderlich, einen Teil der von den Prüftransformatoren benötigten kapazitiven Blindleistung aus Kompensationsdrosseln bereitzustellen (siehe Tafel 2), wofür eine neue Drossel-Baueinheit mit 3 MVA Nennleistung vorgesehen wurde. Um das Typensortiment der neuen Wechselspannungs-Prüfanlagen gegenüber den mannigfaltigen Prüfaufgaben möglichst gut anpassungsfähig zu gestalten, wurden zu den in Tafel 2 aufgeführten Prüfanlagen noch weitere Modifikationsmöglichkeiten durch folgende Maßnahmen geschaffen:

— Einsatz von 1000-kV- oder 800-kV-Prüftransformatoren anstelle des 1200-kV-Typs (bei gleichbleibenden Leistungen)
— Veränderung der installierten Kompensationsleistung.

Alle Prüfanlagen der neuen Baureihe können auf Wunsch noch eine zusätzliche Ausrüstung zur Erzeugung von schwingenden Prüfschaltspannungen erhalten[1]).

2. Konstruktive Gestaltung

2.1. Prüftransformator

Unter weitgehender Ausnutzung der Möglichkeiten des Bahnprofils wurde für den 1200-kV-Prüftransformator eine Dauerbetriebsleistung von 12 MVA bei einer Gesamtmasse von 97 t (Transportmasse 88 t) erreicht (Bild 1). Der Transformator enthält einen Zweischenkelkern aus kaltgewalztem Blech, die Wicklungen sind mit Weichpapierisolation ausgeführt. Kern und Stahlblechgefäß sind an das Mittelpotential angelegt. Bei der Gestaltung des Wicklungsaufbaues und der beiden 600-kV-Durchführungen konnte auf bewährte Konstruktionsprinzipien des Prüftransformators 600 kV/2,4 MVA zurückgegriffen werden. Neben der bei bisherigen Prüftransformatoren generell angewendeten inneren Schubwicklung wurde bei dem neuen Transformator erstmalig eine zusätzliche äußere Schubwicklung eingesetzt, mit der eine weitere Verringerung der Kurzschlußspannung erreicht werden konnte.

[1]) Siehe hierzu den Beitrag „Schaltspannungszusatz für die 3-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage" auf den Seiten 131 bis 133 dieses Heftes.

Tafel 1. Ausführungsvarianten des 12-MVA-Prüftransformators

Nennspannung	1200 kV	1000 kV	800 kV
Nennstrom DB	10 A	12 A	15 A
Strom KB 1 h	12,5 A	15 A	18,5 A
Kurzschluß-Spannung[1])	11 %	11 %	11 %
Kurzschluß-Strom[2])	30 A	36 A	45 A

[1]) Ohne Stellaggregat, bezogen auf Nennstrom
[2]) Mit 9,6-MVA-Stellaggregat bei Nennspannung

Tafel 2. Wechselspannungs-Prüfanlagen mit 1200-kV-Prüftransformatoren

Variante	1	11	11+	21	111	211	3~
Stufenzahl	1	2	2	2	3	3	1
Nennspannung in kV	1200	2000	2400	2000	3000	3000	$1200 \cdot \sqrt{3}$
Transformatoren-Anordnung:							
3. Stufe					T	T	
2. Stufe		T	T	T	T	T	
1. Stufe	T	T	T	TT	T	TT	TTT[4])
Nennstrom DB in A[1])	10	6,2	6,2[3])	8	4,2	5,5	4,2[5])
Strom KB in A[1])	12,5	8,3	8,3[3])				
Kurzschlußstrom in A[2])	30	9,5	12,5	10,6	5,3	6,3	12,6[5])
Ausgangsleistung DB in MVA	12,0	12,4	14,0	16,0	12,6	16,5	15,1
Leistg. Stellaggregat in MVA	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6
Max. Kompensation in MVA	3	6	6	9	9	9	9

[1]) Strom bei cos $\varphi \leqq 0{,}3$ kap
+ Variante 11+ hat erhöhte Außenisolation
[2]) mit Stellaggregat, bei Nennspannung
[3]) oberhalb von 2250 kV sind nur noch max. 5,5 A zulässig
[4]) Drehstrom-Sternschaltung
[5]) Strom je Phase
T-1 Transformator je Stufe
TT-2 parallele Transformatoren je Stufe

Dr.-Ing. *Horst Frank* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, Dr.-Ing. *Jochen Spiegelberg* Chefkonstrukteur für Prüfanlagen im Werk Energietechnik des VEB TuR Dresden.

Gegenüber dem bisher größten TuR-Prüftransformator hat der neue Prüftransformator die 5fache Leistung. Das erforderte zahlreiche neue technologische Lösungen, u.a. bei der Ofenbehandlung. Der Prüftransformator wird generell mit einer Übertragerwicklung zum Einsatz in Kaskadenschaltungen ausgeführt; alle Prüftransformatoren einer Kaskade sind gleich und austauschbar.

2.2. Elektrodensystem

Sehr hohe Wechselspannungen lassen sich nur dann mit vertretbaren Abmessungen der Hochspannungselektroden beherrschen, wenn das elektrische Feld der Hauptelektrode durch zusätzliche Elektroden auf niedrigerem Potential gesteuert wird. Dazu dienen — wie bei der 2,25-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage [1] [2] — Zwischenpotentiale der Kaskadenschaltung (Kesselpotential des 3. Transformators: 83 % Gesamtspannung). Durch Feldstärkeberechnung des Dreielektrodensystems nach dem Ladungsverfahren gelingt eine Optimierung der Anordnung unter Berücksichtigung standardisierter Elektrodenabmessungen[1]) [3].

2.3. Isolierte Aufstellung

Die drei Prüftransformatoren der 3-MV-Anlage sind auf Isoliergerüsten mit Potentialen von 600 kV, 1500 kV und 2500 kV anzuordnen. Insgesamt werden für die Isoliergerüste der Transformatoren und Meßteiler nahezu 250 Stück 300-kV-Stützisolatoren (Porzellan-Hohlstützer mit einer Porzellangrieß-Öl-Füllung) eingesetzt, die eine axiale Belastbarkeit von 120 Mp und eine Mindestbiegebruchlast von 12 Mp ermöglichen (Bild 2).
Bei der statischen Dimensionierung wurden Eislast und Sturm bis 40 m/s berücksichtigt.
Beim Aufsetzen der 100-t-Transformatoren auf die Isoliergerüste — maximal auf etwa 19 m Höhe — ist zu gewährleisten, daß Belastungen der Isoliergeräte durch Horizontalkräfte infolge von Schrägzug weitestgehend vermieden werden. Dazu wurde ein elektrohydraulisch betriebenes Hubpotential entwickelt, das den Transformator vom Straßen- oder Schienen-Tiefladewagen aufnehmen und über transportable Luftkissengleitbahnen bis zu seinem Standplatz auf dem Isoliergerüst transportieren und präzise aufsetzen kann[2]).
An den Isoliergerüsten sind weiterhin — an beiden Längsseiten jedes Transformators — großflächige Ausleger-Podeste angeordnet, die zwei 800-kV-Kompensationsdrosseln, vier Oberwellen-Filterkreise sowie — erstmalig — auch die Baugruppen des Schaltspannungszusatzes aufnehmen.

2.4. Einspeisesystem und Steuerung

Das Einspeisesystem (Bild 3) enthält ein neuentwickeltes Stellaggregat (3) mit 9,6 MVA Gesamtleistung und 10,5 kV maximaler Abgabespannung, das aus drei primärseitig parallel und sekundärseitig in Reihe geschalteten Stufen besteht. Es kann bei kleineren Abgabespannungen auch einstufig oder zweistufig betrieben werden, wobei u.a. höhere Kurzschlußströme erreicht werden. Die drei Schubtransformatoren des Stellaggregates haben ferngesteuerte, elektronisch geregelte Hydraulik-Antriebe mit veränderbarer Stellgeschwindigkeit.
Zur Begrenzung von Überspannungen nach Prüflingsüberschlägen wurde erstmalig ein durch Hochleistungs-Thyristoren auszulösender Dynamik-Kurzschlußkreis (7) eingesetzt, der parallel zu den Ausgangsklemmen des Stellaggregates geschaltet ist. Der hohe Kurzschlußstrom des Dynamikkreises, der im Moment eines Prüflingsüberschlages ausgelöst wird, bewirkt einen großen Spannungsabfall über der Streuinduktivität des Stellaggregates. Dadurch wird eine Senkung der Stellaggregat-Ausgangsspannung auf weniger als 50 % des eingestellten Wertes verursacht (Bild 4) und in etwa gleichem Maße reduzieren sich die Amplituden der Einschwingspannung.
Die Steuerung der Prüfanlage wurde zunächst in bewährter halbautomatischer Technik ausgeführt, die Nachrüstbarkeit für eine Mikrorechner-Steuerung ist gewährleistet.

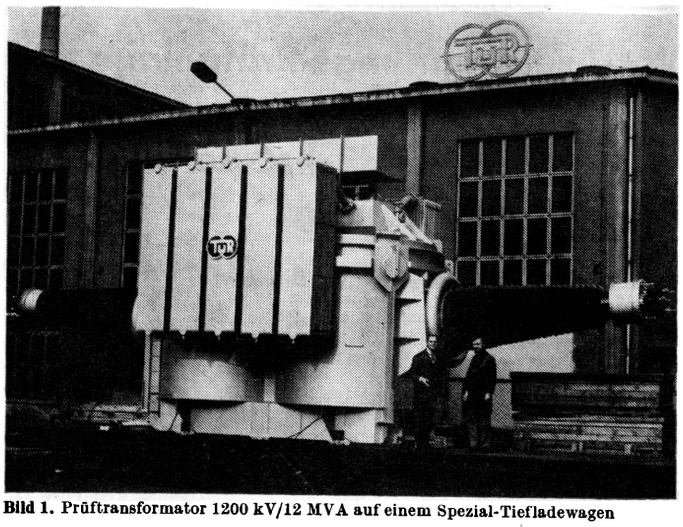


Bild 1. Prüftransformator 1200 kV/12 MVA auf einem Spezial-Tiefladewagen

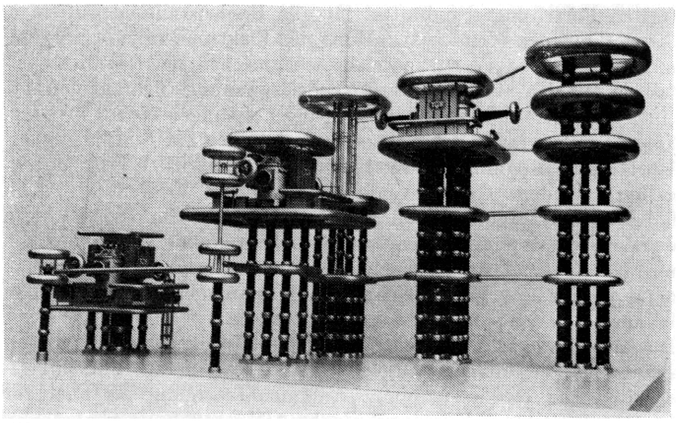


Bild 2. Modell der Wechselspannungs-Prüfanlage 3 MV/12,6 MVA

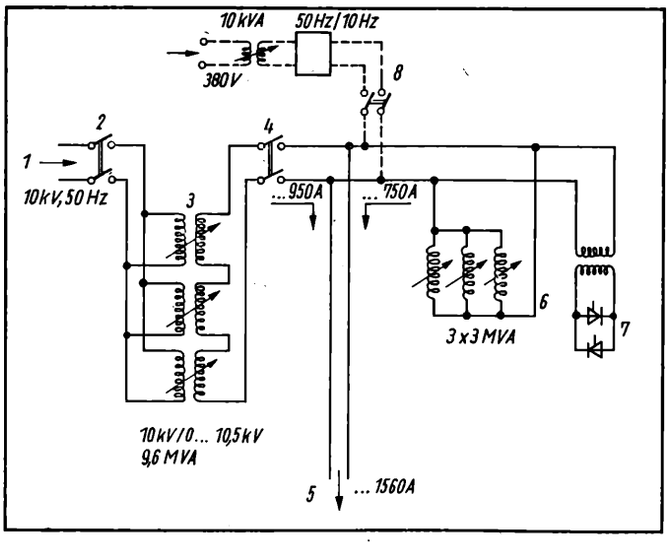


Bild 3. Einspeisung für Prüfanlage 3 MV/12,6 MVA
1 Netzanschluß; *2* Hauptschalter; *3* Stellaggregat; *4* Betriebsschalter; *5* Anschluß für Kaskade; *6* Kompensationsdrosseln; *7* Dynamik-Kurzschlußkreis zum Überspannungsschutz; *8* 10-Hz-Einspeisung zur Aufladung des Schaltspannungszusatzes

3. Erprobung

Die Erprobung der komplett aufgebauten 1. Stufe der Wechselspannungs-Prüfanlage[3]) mit der zugehörigen Einspeisung und Steuerung wurde im VEB TuR durchgeführt und erfolgreich abgeschlossen. Alle geforderten Parameter wurden erreicht. Folgende Ergebnisse seien hervorgehoben:

— Mit dem Prüftransformator wurden bei Nennspannung 150 ungedämpfte Überschläge sowie mehrstündige Dauerfahrten durchgeführt.
— Bei Ansprechen des Dynamik-Kurzschlußkreises wurde — unter den vorhandenen Netzanschlußbedingungen — eine Senkung der Ausgangsspannung des Stellaggregates auf etwa 30 % der zuvor vorhandenen stationären Spannung erreicht.

[1]) Siehe hierzu den Beitrag „Gestaltung der Elektroden der 3-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage" auf den Seiten 127 bis 130 dieses Heftes.
[2]) Siehe hierzu die Information „Hubportal für die Montage der Wechselspannungs-Prüfanlage 3 MV" auf der Umschlagseite dieses Heftes.
[3]) Siehe Foto auf der Titelseite.

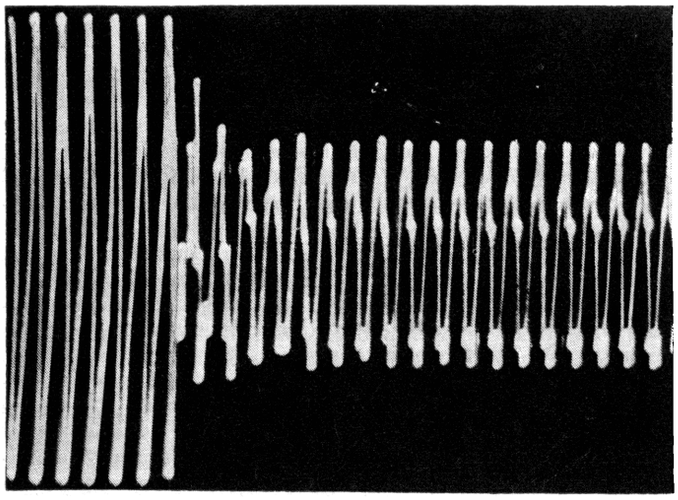


Bild 4. Senkung der Ausgangsspannung einer 1200-kV-Wechselspannungs-Prüfanlage durch Zuschaltung des Dynamik-Kurzschlußkreises

— Durch die Überlagerung der Oberwellen und der Stellcharakteristiken der drei Einzel-Stellaggregate mit Phasenverschiebungen bzw. mit Stellweg-Differenzen wurden für die Ausgangsspannung des Gesamtaggregates eine Reduzierung des Oberwellenanteils bis weit unter den zulässigen IEC-Wert und eine Linearisierung der Stellcharakteristik erreicht.

Die Erprobung der kompletten 3-MV-Anlage ist aus ökonomischen Gründen erst in der endgültigen Aufstellung beim Auftraggeber möglich und wird auf der Grundlage eines Vertrages zur wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit gemeinsam durch den Hersteller und den künftigen Betreiber, das Allunionsinstitut für Elektrotechnik WEI Moskau, Filiale Istra, erfolgen.

4. Zusammenfassung

Für Forschungsarbeiten zur Drehstrom-Höchstspannungs-Energieübertragung wurde unter Einsatz zahlreicher neuer Lösungen eine Typenreihe Wechselspannungs-Prüfanlagen entwickelt, deren Maximalvariante gegenüber der bisher größten Prüfanlage dieser Art die 5fache Leistung und die 1,3fache Nennspannung hat. Eine Vielzahl von Ausführungsvarianten ermöglicht die optimale Anpassung an unterschiedliche Prüfaufgaben. Der erreichte Stand der Erprobung der 1. Stufe für 1200 kV während der Werksendprüfung wird beschrieben; die 1. Anlage wird gegenwärtig beim Auftraggeber, dem Allunionsinstitut für Elektrotechnik WEI „W. I. Lenin" Moskau, montiert.

Die Prüfanlagen ermöglichen neue Erkenntnisse bei der Beherrschung höchster Prüfspannungen und bei der Untersuchung des Einflusses des Innenwiderstandes der Prüfanlage auf die Überschlagspannung, besonders bei beregneten und verschmutzten Isolieranordnungen; mit ihnen können erstmals Wechselspannungsprüfungen ganzer Fertigungslängen von Höchstspannungskabeln ausgeführt werden.

Eine Schutzschaltung verhindert Überbeanspruchungen der Prüflinge durch Einschwingüberspannungen nach dem Durch- oder Überschlag, ohne daß dadurch die Prüfleistung verringert wird.

Literatur

[1] *Dietrich, M.; Spiegelberg, J.:* Wechselspannungs-Prüfanlagen von 750 bis 2250 kV in neuer Konzeption. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 7 S. 350–353

[2] *Lemke, E.; Mosch, W.; Dietrich, M.; Spiegelberg, J.:* Dimensioning of Electrodes in Air for Ultra High Voltages. 4. ISH Athen (1983), paper 44.01

[3] *Dietrich, M.; Frank, H.; Schrader, W.; Spiegelberg, J.:* A 3 MV A.C. Voltage Testing System for Research Work on UHV Transmission. 5. ISH Braunschweig (1987), paper 62.11

EA 5907

Gestaltung der Elektroden der 3-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage

M. Dietrich, KDT; S. Rausendorf, KDT; Dresden

Mitteilung aus dem VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. *Wolfgang Mosch* zum 60. Geburtstag gewidmet

Verwendete Formelzeichen und Indizes

E_{VTZ}	Feldstärke einer Vierteltoroid-Zylinderelektrode
E_T	Feldstärke einer idealen Toroidelektrode
k_{VTZ}	Feldstärkefaktor von Vierteltoroid-Zylinderelektroden
p_s	Zündwahrscheinlichkeit
E_{sh}	Einsatzfeldstärke
E_h	Höchstfeldstärke
D	Durchmesser
R_T	Toroidradius
L_Z	Länge des Zylinderzwischenstückes
A	Elektrodenoberfläche
U	Elektrodenpotential

Die Dimensionierung von HS-Elektroden gehört nach wie vor zu den anspruchvollsten Aufgaben bei der Entwicklung von neuen HS-Prüfanlagen mit Abgabespannungen im Megavoltbereich. Sie bestimmen nicht nur maßgebend das äußere Erzeugnisbild, sondern beeinflussen auch beachtlich die Zuverlässigkeit und die Kosten der Anlagen.

Umfassende Kenntnisse von Ermittlung und Gestaltung elektrostatischer Felder, von den Ursachen der Entladungserscheinungen und ihrer Vorherbestimmbarkeit sowie von der konstruktiven Auslegung der Elektroden selbst und darüber hinaus der gesamten Anlage sind Voraussetzungen für eine optimale Elektrodengestaltung. Dabei soll optimal im Hinblick auf die Minimierung des Aufwandes bei gleichzeitiger Gewährleistung der geforderten Betriebszuverlässigkeit der Anlage verstanden werden. Ziel dieses Beitrages ist es, am Ausführungsbeispiel des Elektrodensystems der 3-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage [1] [2] die Dimensionierung zu beschreiben.

1. Kriterien der Elektrodendimensionierung

Im Ergebnis umfangreicher experimenteller und theoretischer Untersuchungen [3] [4] sollte die Dimensionierung der Hochspannungselektroden von Prüfanlagen nach der Streamer-Einsatzfeldstärke erfolgen. Außerdem beeinflußt die Auswahl eines hinsichtlich der geometrischen Anordnung geeigneten Elektrodensystems wesentlich den erforderlichen Aufwand. Entscheidend für die Höhe der Einsatzfeldstärke, die stets für die Makrogeometrie angegeben wird, ist die Entladungszündung an technologisch, umwelt- und alterungsbedingten Störstellen. An solchen Störstellen können Entladungen bei Einsatzfeldstärken weit unterhalb von 25 kV/cm (unterer Grenzwert nach [5] für ideale Bedingungen) zünden, wobei die Zündmöglichkeit von vielen zufälligen Ereignissen (Vorhandensein des Anfangselektrons, Lawinenentwicklung) abhängig ist. Deshalb hat die Verteilungsfunktion der Streamer-Einsatzfeldstärke für den Fall der Zündung an Störstellen eine große Streuung (Bild 1). Deshalb sind Probleme der Elektrodendimensionierung stets mit Methoden der mathematischen Statistik zu beschreiben, wobei das Vergrößerungsgesetz [6] von entscheidender Bedeutung ist (Bild 2).

Prinzipiell gelingt es, mit Hilfe des Vergrößerungsgesetzes die Verteilungsfunktion der Streamereinsatz-Höchstfeldstärke (d. h., es wird auf die Höchstfeldstärke hinsichtlich der Makrogeometrie be-

Dr.-Ing. *Martin Dietrich* ist Technischer Direktor und Dr.-Ing. *Siegmar Rausendorf* ist Sachgebietsleiter im Anlagenlabor des VEB Transformatoren- und Röntenwerk „Hermann Matern" Dresden.

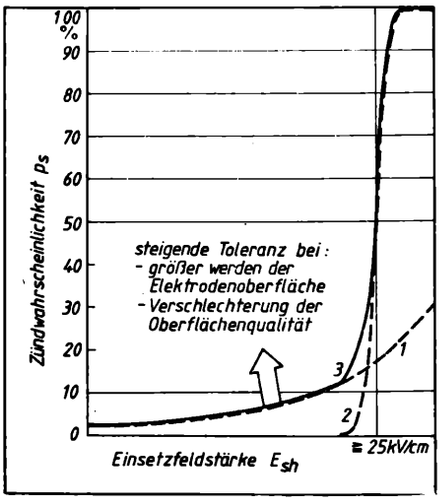


Bild 1
Verteilungsfunktion der Einsatzfeldstärke E_{sh} von technisch realen Hochspannungselektroden (qualitativ)
(statt Toleranz lies Tendenz)

1 obere Steuerelektrode
2 Hauptelektrode
3 untere Steuerelektrode

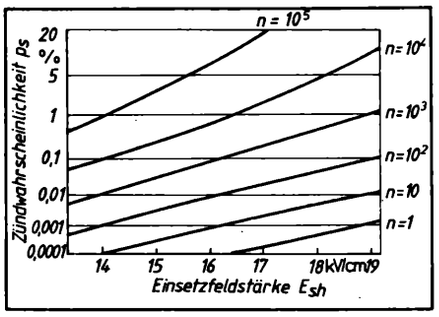


Bild 2
Zur Wirkung des Vergrößerungsgesetzes bei normalverteilten Zufallsgrößen im Bereich kleiner Wahrscheinlichkeiten

$Fn(E) = 1 - [1 - F_1(E)]^n \approx n \cdot F_1(E)$ für $Fn(E) \leqq 5\%$

Verteilungstyp bleibt im Bereich kleiner Wahrscheinlichkeiten erhalten

zogen) für eine beliebige Elektrodenanordnung zu bestimmen und bei Vorgabe der zulässigen Zündwahrscheinlichkeit die zulässige Höchstfeldstärke als Dimensionierungsgrundlage abzuleiten [3].
Voraussetzung dafür ist die Kenntnis vom genauen quantiativen Verlauf der sogenannten Bezugsverteilungsfunktion. Da sie im allgemeinen nicht ausreichend bekannt ist, können insbesondere bei großen Vergrößerungsfaktoren erhebliche Fehler die Folge sein. Deshalb erfolgte die Dimensionierung der Elektroden der 3-MV-Wechselspannungsprüfanlage (Höchstfeldstärke E_{h1}, Elektrodenfläche A_1) auf umfangreichen experimentellen Erfahrungen mit den Elektroden einer 2,25-MV-Anlage (E_{h0}, A_0). Die weitere Senkung der Einsatzfeldstärke infolge der Flächenvergrößerung wurde unter Zugrundelegung folgender Beziehungen berücksichtigt:
Bei geometrisch ähnlichen Elektrodensystemen (Index 0 und 1) gilt für das Verhältnis der Elektrodenoberfläche A_1/A_0, abgeleitet aus Überlegungen von *Schwaiger*, folgende Gleichung:

$$\frac{A_1}{A_0} = \left(\frac{U_1 E_{h0}}{U_0 E_{h1}}\right)^2, \qquad (1)$$

wobei E_{h1} die bei Nennspannung U_1 existierende Höchstfeldstärke bedeutet.
Außerdem läßt sich aus experimentellen und theoretischen Überlegungen ableiten, daß für die gegebene Elektrodenstruktur infolge der Wirkung des Vergrößerungsgesetzes folgende Bedingung für gleiche kleine Quantile der Einsatzfeldstärke näherungsweise gilt:

$$E_{h1} \approx E_{h0} + 2{,}5 \frac{\text{kV}}{\text{cm}} \lg \frac{A_0}{A_1}. \qquad (2)$$

Zur Reduzierung des Aufwandes für die Hochspannungselektroden und zur Orientierung auf standardisierte Elektroden sowie unter Berücksichtigung des konstruktiven Aufbaus von Prüfanlagen sind Elektrodensysteme, bestehend aus einer Hauptelektrode (100-%-Ausgangsspannung der Anlage) und Steuerelektroden mit niedrigem Potential sehr gut geeignet.
Die Steuerelektroden bewirken einen gleichmäßigen Potentialabbau vor der Hauptelektrode und damit eine Reduzierung der Feldstärke an der Elektrodenoberfläche. Um eine wesentliche Feldstärkereduzierung über die gesamte Oberfläche der Hauptelektrode zu erreichen, muß sowohl unterhalb als auch oberhalb der Hauptelektrode eine Steuerelektrode angeordnet sein (Bild 3). Ein solches Elektrodensystem wird als optimal betrachtet, wenn die Höchstfeldstärke auf allen Elektroden gleich groß ist. Dieser Zustand läßt sich durch geeignete Wahl der Verhältnisse der geometrischen Parameter der Elektroden (insbesondere Außendurchmesser und Elektrodenpotential) erreichen. Die 2,25-MV-Prüfanlage [6] (Bild 4) hat ein solches optimales Elektrodensystem.

2. Numerische Feldberechnung

2.1. Berechnungsverfahren

Eine Grundvoraussetzung für die Dimensionierung von Hochspannungselektroden ist die Berechnung elektrostatischer Felder. Auf Grund der vielfältigen und z.T. komplizierten Elektrodenformen sind besonders numerische Feldberechnungsverfahren geeignet, da sie sich durch eine weitestgehende Unabhängigkeit von der Elektrodenform auszeichnen. Infolge der progressiven Entwicklung leistungsfähiger Digitalrechner wurde die zur Dimensionierung von Hochspannungselektroden notwendige Berechnung komplizierter elektrischer Felder möglich. Unter den vielen Berechnungsverfahren hat das von *Steinbigler* [8] erstmals angewandte „Ladungsverfahren" für Elektrodenanordnungen in Luft Bedeutung erlangt. Vorteilhaft sind dabei neben den einfachen und z.T. automatisierbaren Modellierungsmöglichkeiten beliebig geformter Elektroden die Berechnung nicht allseitig abgeschlossener Feldbereiche. Der Aufwand für die Ermittlung dreidimensionaler Felder im Ladungsverfahren läßt sich in beachtlichem Maße verringern, wenn die zu berechnenden Elektrodenanordnungen rotationssymmetrisch sind und deshalb die Elektrodennachbildung mit Ringladungen (konstanter Ladungsdichte längs der Ringe) erfolgen kann.
Für solche rotationssymmetrischen Anordnungen wurde das Ladungsverfahren für den Arbeitsplatzcomputer A 7100 rechentechnisch realisiert; es ermöglicht bis zu 80 Ladungen vorzusehen, die für die Dimensionierung der Elektroden von Hochspannungs-Prüfanlagen völlig ausreichen.

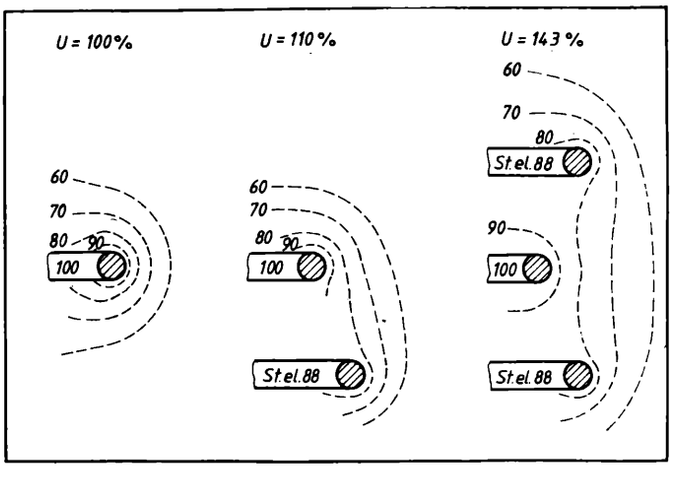
2.2. Einfluß nichtrotationssymmetrischer Geometrien

Die Mehrzahl der Elektroden von Hochspannungs-Prüfanlagen haben keine exakte rotationssymmetrische Geometrie, da z.B. Toroidelektroden durch Einsatz von Zylinderzwischenstücken an den Gesamtaufbau der Prüfanlage angepaßt werden müssen. Die Berechnung des elektrischen Feldes derartiger Elektroden ist selbst für einfachste Anordnungen (z.B. einzelne Elektrode gegen Platte) sehr aufwendig. Daher wurden für diese bei Prüfanlagen typische nichtrotationssymmetrische Elektrodenform — die sogenannte Vierteltoroid-Zylinderelektrode — der Einfluß von Zylinderzwischenstücken gegenüber einer rotationssymmetrischen Vergleichselektrode untersucht und Korrekturfaktoren ermittelt.
Die dazu erforderlichen Berechnungen des nichtrotationssymmetrischen Feldes der Vierteltoroid-Zylinderelektrode erfolgte ebenfalls mit dem Ladungsverfahren bei Verwendung von Punktladungen und im Interesse der Nutzung von Symmetrieeigenschaften für den Fall „Anordnung frei im Raum". Verglichen wurde jeweils mit der Höchstfeldstärke eines Toroids gleichen Rohr- und Außendurchmessers in der Diagonale der Vierteltoroid-Zylinderelektrode. Die somit erhaltenen Korrekturfaktoren k_{VTZ} lassen sich für viele praktische Anwendungsfälle nutzen, um ausgehend von einfach berechenbaren Toroid-Elektrodenanordnungen auf die Höchstfeldstärke an Vierteltoroid-Zylinderelektroden zu schließen (Bild 5).

3. Ergebnisse

Prinzipiell sind für eine mehrstufige Wechselspannungs-Prüfanlage mehrere Elektrodensysteme vorzusehen, da für jeden Kaskadentransformator und in vielen Fällen auch für jeden Spannungsteiler

Bild 3. Anwendung von Steuerelektroden zur Erhöhung der Abgabespannung U von Hochspannungs-Prüfanlagen bei konstanter Höchstfeldstärke



ein eigenes System erforderlich ist. Die Auswahl und Dimensionierung der Elektroden der 3-MV-Anlage erfolgte deshalb in 2 Etappen. Zuerst wurde eine geeignete Anordnung der gesamten Anlage ausgewählt und darauf aufbauend die einzelnen Elektrodensysteme dimensioniert.

3.1. Auswahl einer geeigneten Anordnung der gesamten Prüfanlage

Entscheidend für die Anordnung der Kaskadentransformatoren einschließlich ihres Isolieraufbaus und der zugehörigen Spannungsteiler[1]) ist die Gewährleistung zahlreicher Schaltungsvarianten der Anlage [7], die zu unterschiedlichsten Beanspruchungen der Luftisolierstrecken zwischen den Elementen der Anlage führen.
Zum Beispiel sind der Ausgang der 2. Stufe und der Eingang der 3. Stufe für den Fall der Kaskadenschaltung miteinander verbunden, während bei der Schaltung als Drehstrombank zwischen beiden eine Spannungsdifferenz in Höhe der Nennspannung eines Prüftransformators (d. h. einer Stufe) auftritt. Deshalb wurden bei bisherigen Kaskaden sowohl für den Ausgang der 2. als auch für den Eingang der 3. Stufe Elektrodensysteme mit entsprechendem Abstand zueinander vorgesehen (Bild 6 links).
Bei der 3-MV-Anlage gelang es dagegen mit nur einem 2-MV-System auszukommen, indem der Ausgang der 2. Stufe und der Eingang der 3. Stufe im Hinblick auf das Hochspannungspotential untrennbar miteinander verbunden wurden und bei Schaltung als Drehstrombank der 2. Kaskadentransformator T2 „rückwärts" eingespeist wird (Bild 6 rechts).

3.2. Dimensionierung des Elektrodensystems für den 3-MV-Spannungsteiler

Die Dimensionierung dieses Elektrodensystems stellte besondere Ansprüche, da höchste und bisher nicht erzeugbare Spannungen zu beherrschen sind (3-MV-Effektivwert), der Spannungsteiler hinsichtlich seiner mechanischen Festigkeit und seines elektrischen Verhaltens zu berücksichtigen war und sowohl ein horizontaler als auch ein vertikaler Prüflingsanschluß realisierbar sein muß. Prinzipiell wurde analog der 2,25-MV-Prüfanlage ein Elektrodensystem bestehend aus Hauptelektrode, unterer und oberer Steuerelektrode (siehe Abschn. 1.) gewählt, wobei jedoch zur Gewährleistung der mechanischen Festigkeit des Isolieraufbaus eine mechanische Trennung vom Elektrodensystem des 3. Kaskadentransformators erforderlich war (Bild 7). Potentialmäßig sind beide Steuerelektroden mit dem Kesselpotential dieses Transformators verbunden (d. h. 83-%-Potential). Für den Fall eines vertikalen Prüflingsanschlusses (Zylinderelektrode bzw. Bündelleiter senkrecht nach oben) läßt sich die oberste Elektrode auch an die Ausgangsspannung (100 %) anschließen, wobei in diesem Fall die beiden obersten Elektroden wie ein Doppel-Toroid wirken und außerdem die Prüflingszuleitung eine weitere Feldentlastung hervorruft. Die kleineren Steuerelektroden unterhalb des 3-Elektrodensystems dienen der Abschirmung von konstruktiv bedingten Versteifungsrahmen des Teileraufbaus

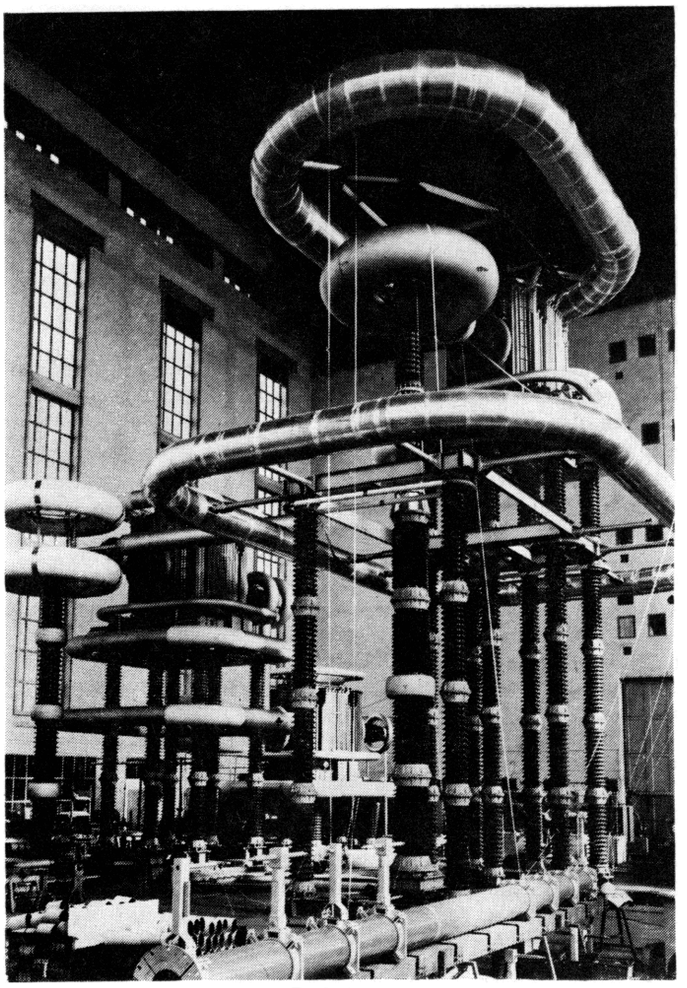


Bild 4. 2,25-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage

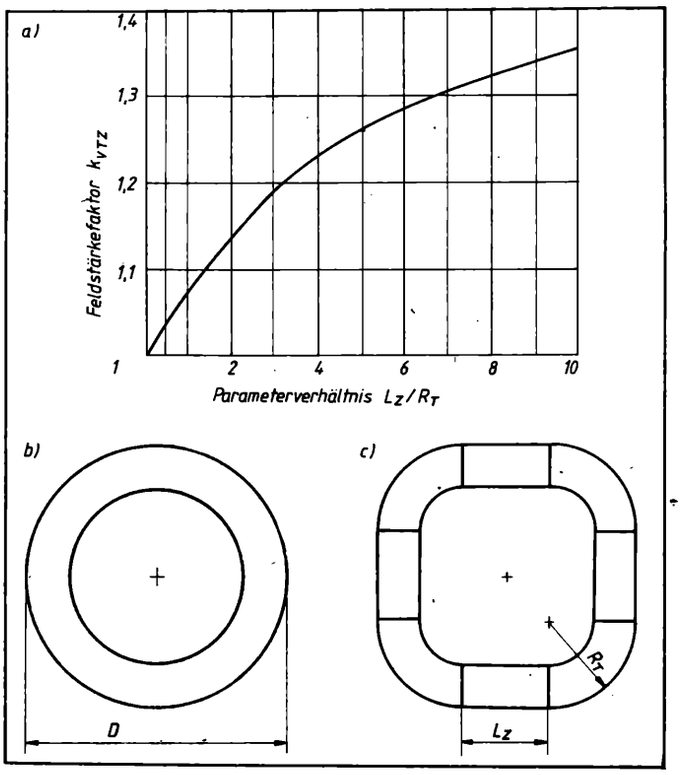
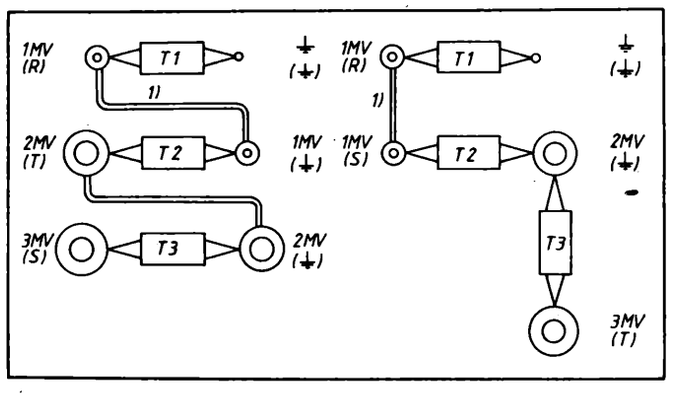


Bild 5. Feldstärkefaktor von Vierteltoroid-Zylinder-Elektroden [$D = 2(R_T + \sqrt{2}\,L_Z)$]
a) $k_{VTZ} = \frac{E_h\,(\text{Vierteltoroid-Zylinder})}{E_h\,(\text{Bezugstoroid})}$
b) Bezugstoroid
c) Vierteltoroid-Zylinderelektrode

Bild 6. Reduzierung des Aufwandes an 2-MV-Elektroden durch Optimierung der Aufstellung der Gesamtanlage (links: bisherige Aufstellung; rechts: Aufstellung mit reduziertem Aufwand)
Spannungen und Schaltverbindungen gelten für Kaskadenschaltung. Angaben in Klammern symbolisieren die Schaltung als Drehstrombank mit den Phasen R, S, T



[1]) Siehe Beitrag „Wechselspannungs-Prüfanlage 3 MV/12,6 MVA – ein Beitrag zur Höchstspannungs-Energieübertragung" in diesem Heft auf S. 125 – 127.

und haben nur eine unbedeutende feldsteuernde Wirkung auf das zu diskutierende Elektrodensystem.

Unter Berücksichtigung der Gln. (1) und (2) ergab sich für das 3-Elektrodensystem eine Reduzierung der zulässigen Höchstfeldstärke um etwa 0,5 kV/cm gegenüber der 2,25-MV-Vergleichsanlage die unter Innenraumbedingungen und unter Berücksichtigung der Erhöhung der Feldstärke durch die nahe gelegene Hallenwand getestet wurde.

Im Hinblick auf den Einsatz unter Freiluftbedingungen haben erste experimentelle Untersuchungen gezeigt, daß selbst bei günstigen meteorologischen Bedingungen und geringem Umweltbeeinflussungen (trocken, geringer Wind, keine übermäßige Staubentwicklung, keine Regentropfen oder andere umweltbedingte Elektrodenverschmutzungen) vergleichbare Quantile der Einsatzfeldstärken bis zu 2 kV/cm niedriger liegen als im Innenraum.

Auf diese Überlegungen aufbauend erfolgte die Dimensionierung des 3-MV-Elektrodensystems auf der Basis einer zulässigen Höchstfeldstärke, die 2,5 kV/cm niedriger liegt als bei der untersuchten 2,25-MV-Anlage. Bei der Auswahl der geometrischen Parameter des Elektrodensystems mußte ein Kompromiß zwischen maximaler feldsteuernder Wirkung der Steuerelektroden und der Realisierbarkeit des vertikalen Prüflingsanschlusses gefunden werden (Bild 8).

Dabei ergeben sich für den Fall des Prüflingsanschlusses vertikal nach oben noch niedrigere als die abgeschätzten zulässigen Feldstärken und schaffen damit zusätzliche Sicherheit für diesen in der Praxis am häufigsten angewandten Betriebsfall. Jedoch steht diesen Vorteilen eines flexiblen Prüflingsanschlusses ein etwa doppelt so hoher Aufwand im Hinblick auf die erforderliche Elektrodenoberfläche im Vergleich zu einem optimierten 3-Elektrodensystem gemäß Abschnitt 1. gegenüber.

Bild 8
Höchstfeldstärken E_h am Elektrodensystem des 3-MV-Spannungsteilers mit und ohne Prüflingsanschluß

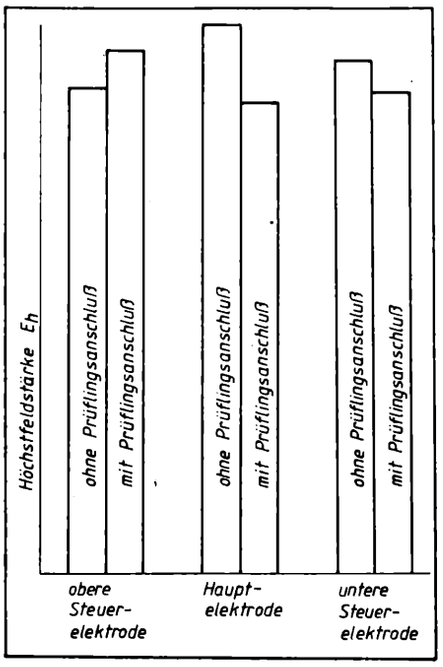
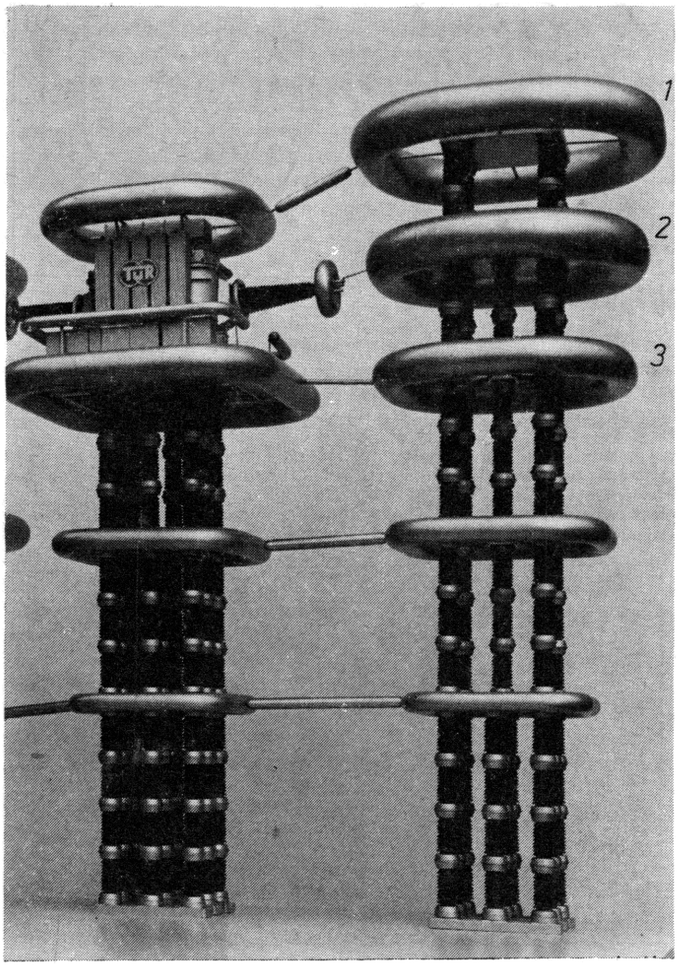


Bild 7. 3. Stufe der 3-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage (links: Prüftransformator, rechts: kapazitiver Spannungsteiler)
1 obere Steuerelektrode
2 Hauptelektrode
3 untere Steuerelektrode



4. Zusammenfassung

Aufbauend auf den derzeitigen Erkenntnisstand erfolgte die Gestaltung und Optimierung der Elektroden der 3-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage. Eine neuartige Anordnung der gesamten Anlage führte zu einer beachtlichen Reduzierung der Elektroden mit 2-MV-Potential. Abweichend von optimierten 3-Elektroden-Systemen wurde zur Beherrschung der 3-MV-Ausgangsspannung ein umschaltbares Elektrodensystem gewählt, um sowohl horizontale als auch vertikale Prüflingsanschlüsse zu ermöglichen. Die der Dimensionierung zugrunde gelegten Höchstfeldstärken resultieren aus den Ergebnissen umfangreicher Untersuchungen zum Entladungsverhalten einer 2,25-MV-Wechselspannungsprüfanlage unter Berücksichtigung des Vergrößerungsgesetzes.

Die erforderlichen Feldberechnungen erfolgten mit Hilfe des Ladungsverfahrens für rotationssymmetrische Anordnungen. Abweichungen der Elektrodengeometrie von der Rotationssymmetrie wurden durch Korrekturfaktoren berücksichtigt.

Literatur

[1] *Dietrich, M.; Frank, H.; Schrader, W.; Spiegelberg, J.:* A 3 MV AC Voltage Testing System for Research Work in UHV Transmission. 5. ISH, Braunschweig, 1987, paper 62.11

[2] *Frank, H.; Spiegelberg, J.:* Wechselspannungs-Prüfanlage 3 MV/12,6 MVA – ein Beitrag zur Höchstspannungs-Energieübertragung. ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 4, S. 125–127

[3] *Dietrich, M.:* Dimensionierung von großflächigen Elektroden für Hochspannungsprüfanlagen mit Abgabespannungen im Megavolt-Bereich. Dissertation A, TU Dresden 1983

[4] *Mosch, W.; Dietrich, M.; Lemke, E.; Hauschild, W.:* Statistical design of large UHV electrodes in air. IEE Proc., vol. 133, pt. A, No. 8, 11/86

[5] *Schuhmann, W. O.:* Elektrische Durchbruchsfeldstärke von Gasen. Berlin: Springer Verlag 1923

[6] *Hauschild, W.; Mosch, W.:* Statistik für Elektrotechniker. Berlin: VEB Verlag Technik 1984

[7] *Dietrich, M.; Spiegelberg, J.:* Wechselspannungs-Prüfanlagen von 750 kV bis 2250 kV in neuer Konzeption. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 7, S. 350–352

[8] *Steinbigler, H.:* Anfangsfeldstärken und Ausnutzungsfaktoren rotationssymmetrischer Elektrodenanordnungen in Luft. Dissertation, TH München 1969

EA 5908

Schaltspannungszusatz zur 3-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage[1)]

W. Schrader, KDT; P. Coors, KDT; Dresden

Mitteilung aus dem VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. *Wolfgang Mosch* zum 60. Geburtstag gewidmet

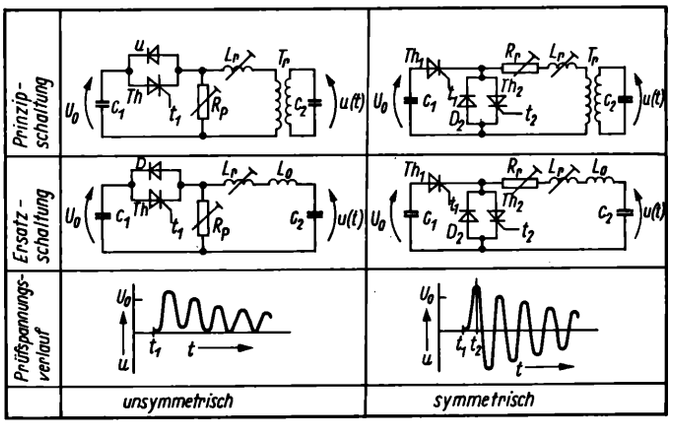


Bild 1. Erzeugung schwingender Prüfschaltspannungen mit Prüftransformatoren

Schwingende Impulsspannungen für die Hochspannungs-Prüftechnik können sowohl mit Marx-Generatoren als auch mit impulserregten Prüftransformatoren erzeugt werden. Hierbei eignen sich impulserregte Prüftransformatoren bzw. Prüftransformatorkaskaden besonders für die Nachbildung der in großen Übertragungsnetzen auftretenden niederfrequenten Schaltüberspannungen.
TuR-Wechselspannungs-Prüfanlagen sind mit sogenannten Schaltspannungszusätzen zur Erzeugung schwingender Prüfschaltspannungen aus- oder nachrüstbar. Während bisher alle Schaltspannungszusätze für die Erzeugung unsymmetrisch schwingender Prüfschaltspannungen ausgelegt waren, ermöglicht der Schaltspannungszusatz für die neue 3-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage erstmals die Erzeugung unsymmetrischer Prüfschaltspannungen.

1. Grundschaltung

Mit TuR-Schaltspannungszusätzen können die Prüftransformatoren bzw. Prüftransformatorkaskaden über eine (oder mehrere) Kondensatorenbatterie(n) unterspannungsseitig impulserregt werden (Bild 1). Beim Zuschalten der Kondensatorenbatterie entsteht ein Reihenschwingkreis aus der Kapazität C_1 der Kondensatorenbatterie, der Streuinduktivität L_0 des Prüftransformators T_r bzw. der Prüftransformatorenkaskade und der Kapazität C_2 des Prüfobjekts.
Die Frequenz und die Dämpfung der am Prüfobjekt auftretenden Prüfschaltspannung kann durch unterspannungsseitig einschaltbare Induktivitäten L_r und Widerstände R_p bzw. R_r eingestellt werden.
Zur Erzeugung unsymmetrisch schwingender Prüfschaltspannungen genügt ein Leistungsschalter Th im Speisekreis. Soll jedoch die Prüfschaltspannung symmetrisch um die Nullinie schwingen, so wird ein zweiter Leistungsschalter Th_2 erforderlich, der zum Zeitpunkt des Spannungsmaximums am Prüfobjekt geschlossen werden muß.
Die maximal erreichbaren Frequenzen der Prüfschaltspannung hängen hauptsächlich von der Streuinduktivität des Prüftransformators bzw. der Prüftransformatorenkaskade für hohe Spannungen und gleichzeitig hohen Kapazitäten des Prüfobjekts ab. Besonders bei mehrstufigen Prüftransformatorenkaskaden für hohe Spannungen und gleichzeitig hohen Kapazitäten des Prüfobjekts sind bei Impulserregung über die Kaskaden-Erregerwicklung kaum Frequenzen über 100 Hz erzielbar. Wesentlich höhere Frequenzen (6fach bei einer dreistufigen Kaskade) sind erreichbar, wenn jeder Hochspannungstransformator einer Kaskade durch einen eigenen Einspeisekreis erregt wird (Mehrfacheinspeisung) (Bild 2). Die Ursache hierfür liegt darin begründet, daß durch die Mehrfacheinspeisung die wirksame Streuinduktivität einer Prüftransformatorenkaskade wesentlich verringert wird.
Die Mehrfacheinspeisung erfordert die Aufladung von Kondensatorenbatterien, die sich auf Hochspannungspotential befinden. Das kann entweder über Ladeschalter erfolgen, die während der Ladephase die Hochspannungspotentiale überbrücken, oder wie erstmals beim Schaltspannungszusatz für die 3-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage angewandt, über die Prüftransformatoren-

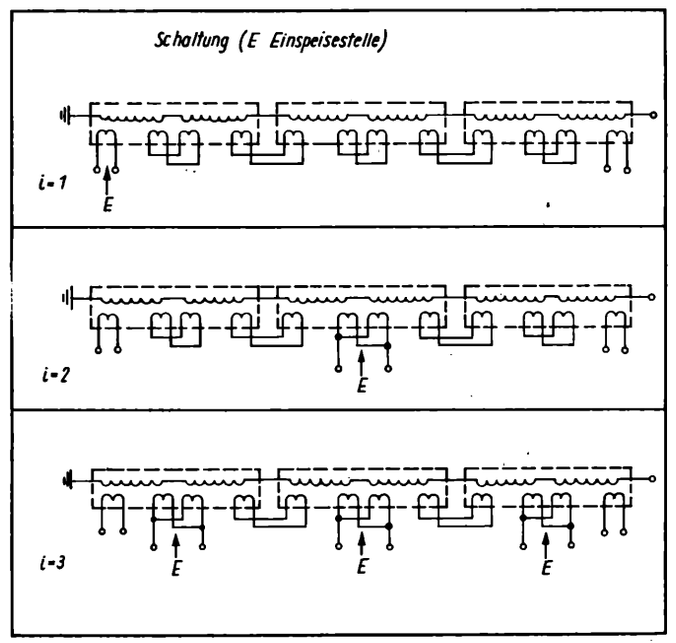


Bild 2. Schaltspannungs-Prüfanlage, Vergleich unterschiedlicher Einspeisearten (Beispiel: Hochspannungstransformatoren FPEO 1500/750) — s. auch Tafel 1

Tafel 1. Ergänzung zum Bild 2

$\frac{L_{0i}}{L_{01}}$	1	0,25	0,026
$\frac{f_i}{f_1}$ C_2 = const	1	2,00	6,25
$\frac{C_{2i}}{C_{21}}$ f = const	1	4,00	39,0
	Einfach-einspeisung		Mehrfach-einspeisung

L_0 wirksame Streuinduktivität der Kaskade
f max. Frequenz der Schaltspannung
C_2 max. kapazitive Belastung der Kaskade

Tafel 2. Hauptparameter

Stufenzahl	3	2	1
max. Prüfschaltspannung in kV	3900	3000	1600
max. Belastung in nF	10	13	23
max. Frequenz bei max. Belastung in Hz	200	200	200
max. Frequenz bei 50 % Belastung in Hz	250	250	250
min. Frequenz in Hz	100	100	100
min. Impulsabstand in s	60	60	60

Dr.-Ing. *Werner Schrader* ist Themenleiter; Dipl.-Ing. *Peter Coors* ist Entwicklungsingenieur im Hochspannungslabor des Werkes Energietechnik des VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden.
[1)] Der Beitrag bezieht sich auf den Fachaufsatz von *Frank, H.; Spiegelberg, J.*: „Wechselspannungs-Prüfanlage 3 MV/12,6 A — ein Beitrag zur Höchstspannungs-Energieübertragung" auf den Seiten 125 bis 127 dieses Heftes.

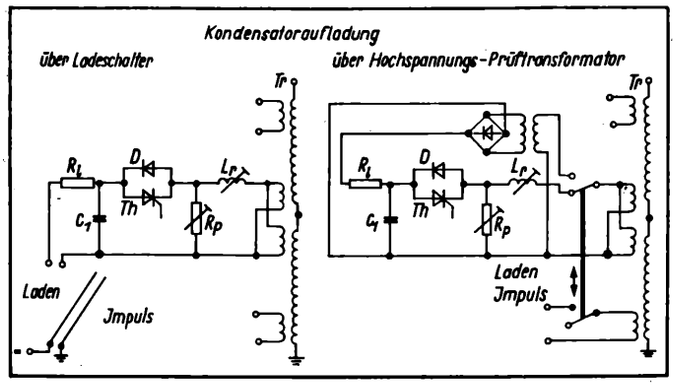


Bild 3. Schaltspannungs-Prüfanlage, Aufladearten der Kondensatorenbatterie

kaskade selbst (Bild 3). Im ersten Fall befindet sich der Ladespannungserzeuger auf Erdpotential. Im zweiten Fall wird während der Ladephase die Erregerwicklung der Prüftransformatorenkaskade mit einer bezüglich der Nennspannung kleinen Wechselspannung gespeist. Hiermit steht an allen auf Potential befindlichen Unterspannungswicklungen der Kaskade eine Wechselspannung zur Verfügung, mit der unter Zwischenschaltung von Ladespannungserzeugern die auf Potential befindlichen Kondensatorenbatterien aufgeladen werden können. Die Ladezeit der Kondensatorenbatterien wird von den wirksamen Impedanzen der Wechselspannungs-Prüfanlage wesentlich mitbestimmt. Eine Reduzierung der Ladezeit ist durch Herabsetzung der Frequenz der speisenden Wechselspannung (< 50 Hz) möglich, da sich hiermit im gleichen Maße die Impedanzen der Wechselspannungs-Prüfanlage verringern.
Der Hauptvorteil des zweitgenannten Ladeverfahrens besteht im Wegfall der aufwendigen Ladeschalter und in der hiermit verbundenen Verbesserung der Betriebszuverlässigkeit der Freiluft-Prüfanlage, besonders unter extremen Witterungsbedingungen.

2. Konstruktive Details

Alle Schaltspannungszusätze zur Nachrüstung bereits vorhandener Wechselspannungs-Prüfanlagen haben einen ähnlichen Isolieraufbau wie die Wechselspannungs-Prüfanlage selbst. Bei der 3-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage sind erstmals die Rahmen auf den Zwischenpotentialen der Transformatorenkaskade so ausgebildet, daß sie alle Baugruppen des Schaltspannungszusatzes mit aufnehmen können. Hierdurch ergibt sich sowohl eine Verringerung der Grundfläche der Prüfanlage als auch eine Vereinfachung der Betriebsführung.
Als Energiespeicher in den einzelnen Stufen des Schaltspannungszusatzes dienen Metallgefäßkondensatoren mit Keramikdurchführung (10 kV/25 µF), die mit einem umweltfreundlichen speziellen Mineralöl imprägniert sind. Die maximale Ladeenergie des dreistufigen Schaltspannungszusatzes beträgt 240 kJ bei einer maximalen Ladespannung von 10 kV.

Die als Luftspulen ausgeführten Induktivitäten zur Einstellung der Frequenz der Prüfschaltspannung haben Foliewicklungen mit geringer Dämpfung. Sie sind für einen sicheren Betrieb auch unter stark wechselnden Witterungsbedingungen mit einem elastischen Polyurethanharz umgossen. Der umschaltbare ohmsche Widerstand zur Einstellung der Dämpfung der Prüfschaltspannung ist in einem Stahlblechgefäß unter Öl angeordnet. An Stelle der bisher eingesetzten Hochleistungsfunkenstrecken kommen als Leistungsschalter in den einzelnen Schaltspannungsstufen wartungsfreie Thyristorenleistungsschalter zum Einsatz. Sie sind in gleicher Weise wie die Ladeaggregate für die Kondensatorenbatterien in ölgefüllte Stahlblechgehäuse eingebaut. Die Umschaltung von „Laden" auf „Impuls" (Bild 3) erfolgt in jeder Schaltspannungsstufe über 10-kV-Umschalter. Sie werden über Kunststofflangstabilisatoren vom Erdpotential aus mit elektrohydraulischen Antrieben betätigt. Schalter mit gleichem Antrieb ermöglichen ebenfalls vom Erdpotential aus die Umschaltung aller Kaskadenstufen von Schaltspannungs- auf Wechselspannungsbetrieb und umgekehrt.

3. Einspeisung, Steuerung

Die Einspeisung des Schaltspannungszusatzes erfolgt über einen Drehstrom-Stelltransformator. Mit ihm kann über die zugehörige Steuerung die Ladespannung der Kondensatorenbatterien der Schaltspannungsstufen und damit auch die Höhe der schwingenden Prüfschaltspannung eingestellt werden. Alle weiteren Baugruppen der Einspeisung, wie 50-Hz/10-Hz-Umrichter, Leistungsschütze, Hilfsschütze u.a., sind in einem Schaltschrank angeordnet. Die Umschaltung der Einspeisung der Wechselspannungskaskade von Schaltspannungs- auf Wechselspannungsbetrieb und umgekehrt erfolgt in einer 10-kV-Schaltzelle.
Die Baugruppen für die Steuerung der gesamten Schaltspannungs-Prüfanlage befinden sich in einem Steuerschrank. Sie ermöglichen einen halbautomatischen Betrieb der Prüfanlage. Für den vollautomatischen Betrieb sind Anschlüsse für einen Mikrorechner vorgesehen.
Die Übertragung der Triggersignale für die Thyristorenleistungsschalter von Erd- auf Hochspannungspotential sowie die Übertragung wichtiger Informationen von den Schaltspannungsstufen zum Steuerschrank auf Erdpotential erfolgt über Lichtwellenleiter. Die Lichtwellenleiter sind innerhalb der Wechselspannungskaskade in ölgefüllten Hohlstützern verlegt.
Die Messung der schwingenden Prüfschaltspannung erfolgt über die zur 3-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage gehörende Meßtechnik.

4. Hauptparameter

Die dreistufige Prüfanlage kann auch im Teilbetrieb als zwei- oder einstufige Anlage betrieben werden. Für die drei Schaltungsvarianten ergeben sich die Hauptparameter nach Tafel 2.
Als Beispiel zeigen die Bilder 4 und 5 die mit einer einstufigen Prüfanlage im Bereich der maximalen Prüfschaltspannung und maximalen Belastung erzielbaren Spannungsverläufe.

Bild 4. Symmetrisch schwingende Prüfschaltspannung
$\hat{u} = 1596$ kV; $f = 189$ Hz; $C_p = 23{,}2$ nF

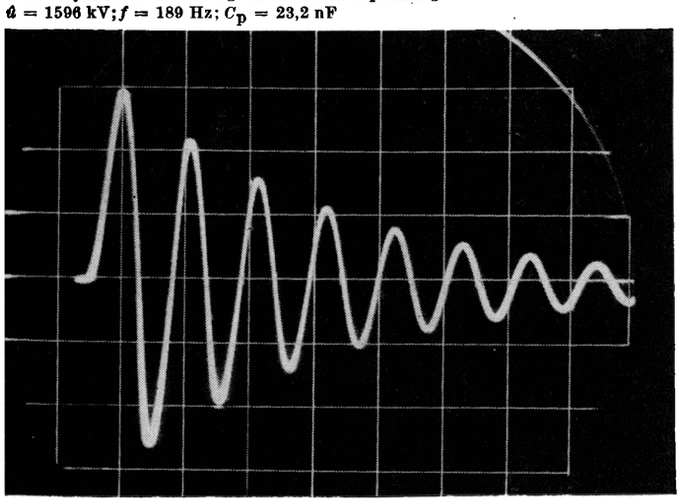
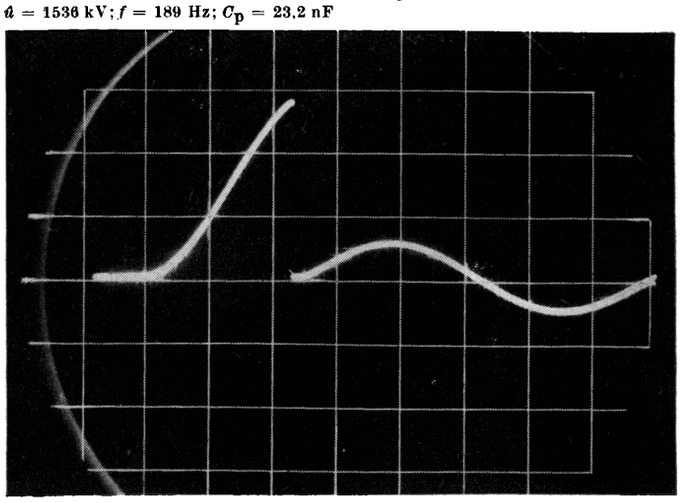


Bild 5. Symmetrisch schwingende Prüfschaltspannung mit Spitze-Platte-Funkenstrecke kurz vor Erreichen des ersten Scheitels abgeschnitten
$\hat{u} = 1536$ kV; $f = 189$ Hz; $C_p = 23{,}2$ nF



Hard- und Software für rechnergestützte Hochspannungsprüfungen mit Wechsel- und Gleichspannung

W. Hauschild, KDT; J. Speck, KDT; H. Bachmann, KDT; M. Baronick, KDT; Dresden

Mitteilung aus dem VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. *Wolfgang Mosch* zum 60. Geburtstag gewidmet

In zahlreichen Publikationen hat *W. Mosch* die experimentell orientierte Arbeitsweise und die Verallgemeinerung experimenteller Ergebnisse durch mathematisch-physikalische Modellvorstellungen als Charakteristika der Hochspannungsforschung hervorgehoben [1] [2]. Trotz beträchtlicher Fortschritte wird diese empirische Arbeitsweise auch zukünftig typisch bleiben. Die Qualität experimenteller Ergebnisse und damit die Gültigkeit von Modellen hängt maßgeblich von der Versuchsdurchführung ab, die der weiteren Vervollkommnung bedarf. Beispielsweise können die Ursachen einer beobachteten Streuung sowohl vom untersuchten Durchschlagprozeß selbst, als auch von schwankenden Versuchsabläufen (etwa ungleichmäßiger Spannungssteigerung) oder von zufälligen Meßfehlern herrühren. Eine exakt reproduzierbare Versuchsdurchführung kann nur mit einer automatisierten Hochspannungsprüfanlage erreicht werden, die außerdem erhebliche Rationalisierungseffekte mit sich bringt. Neben der Hochspannungsforschung sollten deshalb auch die der Qualitätssicherung dienenden Routineprüfungen automatisiert werden [3].

Im TuR-Hochspannungs-Prüfanlagenprogramm wird dem geschilderten Bedarf durch Meß- und Steuersysteme seit langem Rechnung getragen [4] [5]. Die erste Generation dieser Systeme bestand aus speziell für die Hochspannungsprüftechnik entwickelten Meß-, Steuer- und Regelgeräten sowie handelsüblichen Einrichtungen der analogen und digitalen Meßwerterfassung. Die Systeme wurden über Lochstreifen programmiert und lieferten protokollierte Meßdaten (Datendruck und Lochstreifen), jedoch konnte deren Auswertung nur „off-line" erfolgen, da die direkte Rechnerkopplung an Problemen der elektromagnetischen Verträglichkeit scheiterte.

Die Fortschritte der Mikrorechentechnik schufen völlig neue Voraussetzungen für automatisierte Hochspannungsprüfungen, da der On-line-Betrieb möglich ist. Die zweite Generation von Meß- und Steuersystemen setzt handelsübliche Mikrorechner ein (PC, AC), reduziert den Umfang der Hardware auf einen Bruchteil der ersten Generation, gewährleistet die einfache Programmwahl durch Bedienerführung am Bildschirm und sichert eine umfassende statistische Auswertung und Protokollierung. Die Realisierbarkeit solcher Mikrorechnersteuerungen wurde durch Eigenlösungen verschiedener Hochspannungslaboratorien, z.B. [6] [7] [8], nachdrücklich bestätigt. Eine industriell gefertigte Lösung darf sich aber nicht auf eine konkrete Prüfung beschränken, sondern muß höheren Allgemeinheitsgrad, spätere hard- und softwaremäßige Ergänzung und extreme elektromagnetische Verträglichkeit gewährleisten [3] [9]. Darüber hinaus muß der manuelle Betrieb der Prüfanlage und die Nachrüstung an ältere Anlagen uneingeschränkt möglich sein. Schließlich muß auch das Preisverhältnis zwischen Prüfanlage und Automatisierungssystem angemessen bleiben.

Nachfolgend werden Struktur der Hard- und Software einschließlich Bedienerführung der zweiten Generation von TuR-Meß- und Steuersystemen beschrieben. Die Software für die statistische Auswertung entstand im Rahmen der Forschungskooperation mit dem Wissenschaftsbereich Hochspannungstechnik der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden.

1. Hardware

Der 8-bit-Mikrorechner MC 80 (Hersteller: VEB Elektronik Gera) erwies sich unter den Bedingungen der Hochspannungsprüftechnik als gut geeignet. Das kompakte Gerät hat eine gute Störimpulssicherheit, ermöglicht mit seinen fünf freien Steckplätzen prozeßspezifische Ergänzungen und die Nutzung als Entwicklungssystem zur Erstellung eigener, spezieller Programme durch die Anwender.

Neben der beträchtlichen Erweiterung des Speicherbereichs sind vor allem Ergänzungen hinsichtlich der Prozeßkopplung und der Zusammenarbeit mit einem übergeordneten Rechner notwendig.

Bild 1 zeigt die stark vereinfachte Blockschaltung einer Mikrorechnersteuerung für Gleich- und Wechselspannungsprüfanlagen.

Die Kopplung des Rechners mit Hochspannungsprüfanlage und Prüfling erfolgt über die TuR-Ein/Ausgabekarten E/A 1 und E/A 2, wobei in den Starkstromteil der Anlagensteuerung über den Relaiseinschub H 308 eingegriffen wird. Auf den Leiterplatten E/A 1 und E/A 2 sind insgesamt neben acht H-308-Ausgängen acht analoge Eingänge über Multiplexer vorgesehen, mit denen neben dem Analogwert der Prüfspannung (z.B. vom Scheitelspannungsmeßgerät TuR-MU 11) beispielsweise noch die Ausgangsspannungen von Meßwertumformern für Umgebungsparameter erfaßt werden können.

Zwei Analogausgänge sind zur Regelung der Stellgeschwindigkeit von Speiseaggregaten gedacht.

Ein spezieller Eingang, der wahlweise den Anschluß eines Koaxialkabels oder einer Lichtwellenleiterstrecke ermöglicht, dient der Durchschlagerfassung (DE). Weiterhin ermöglichen neun digitale Eingänge und acht digitale Ausgänge wichtige Zustände der Steuerung und der Meßeinrichtung zu erfassen bzw. zu beeinflussen.

Zum Protokollausdruck (Hardcopy) wird das System mit einem Drucker ergänzt. Die Korrespondenz mit einem übergeordneten Rechner erfolgt über eine serielle Schnittstelle (IFSS oder TTY).

Die zuverlässige Funktion des Mikrorechners bei Hochspannungsprüfungen wird durch umfangreiche Maßnahmen zum Schutz gegen

Dr. sc. techn. *Wolfgang Hauschild* ist Abteilungsleiter; Dipl.-Phys. *Herbert Bachmann* ist Gruppenleiter und Dipl.-Ing. *Michael Baronick* ist Entwicklungsingenieur im Anlagenlabor des TuR Dresden, Werk Energietechnik; Dr.-Ing. *Joachim Speck* ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Wissenschaftsbereich Hochspannungstechnik der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden.

5. Zusammenfassung

Es wird der für die 3-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage neuentwickelte Schaltspannungszusatz vorgestellt. Neben der Erhöhung der Grenzparameter und der Erweiterung auf symmetrische Prüfschaltspannungen standen bei der Neuentwicklung besonders die Erhöhung der Zuverlässigkeit und die Vereinfachung der Betriebsführung im Vordergrund. Der neue Schaltspannungszusatz unterscheidet sich von den bisher gefertigten insbesondere durch folgende Merkmale:

- Anordnung des Schaltspannungszusatzes auf dem Isolieraufbau der Prüftransformatorenkaskade
- Erzeugung symmetrisch schwingender Prüfschaltspannungen
- Erhöhung der Grenzparameter maximale Prüfschaltspannung und maximale Belastung
- Aufladung der Kondensatorenbatterien über die Prüftransformatorenkaskade mit 10-Hz-Wechselspannung
- Einsatz von Thyristorenleistungsschaltern in den Schaltspannungsstufen
- Überwachung wichtiger Zustände und Abläufe in den Schaltspannungsstufen
- Übertragung von Steuerungs- und Überwachungssignalen über Lichtwellenleiter
- Umschaltung von Schaltspannungs- auf Wechselspannungsbetrieb und umgekehrt vom Steuerschrank aus.

EA 5904

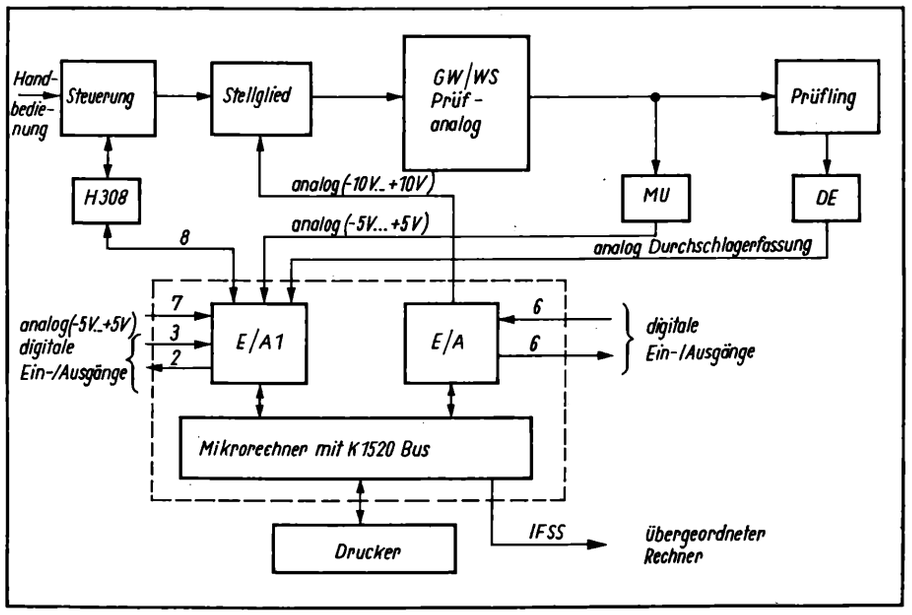


Bild 1. Blockschaltbild der Mikrorechnersteuerung WMS 11/GMS 11

Bild 2. Mikrorechnersteuerung GMS 11 am Hochspannungs-Bausteinsystem GBS 14/135 für 135 kV

elektromagnetische Störungen [10], die betriebsmäßig bei Prüflingsdurchschlägen auftreten, gewährleistet. Sie reichen von flächenhaften (induktivitätsarmen), sternförmigen Erdverbindungen im Hochspannungskreis über konsequente galvanische Trennungen (Optokoppler, Trennverstärker, Lichtwellenleiterstrecken) sowie Masseflächen und Schutzbeschaltungen auf den Leiterkarten bis zur zusätzlichen Schirmung des Mikrorechners, die für Spannungen größer 500 kV und bei Prüfungen von gasisolierten Anordnungen vorgesehen ist.
Bild 2 zeigt die ungeschirmte Mikrorechnersteuerung GMS 11 an einem Hochspannungs-Bausteinsystem GBS 14/135 für 135 kV Gleichspannung.

2. Software

2.1. Unterteilung

Die Software der Mikrorechnersteuerung ist in folgende Komplexe zu unterteilen:

(1) Automatische Steuerung und Überwachung des Prüfprozesses unter Echtzeitbedingungen,
(2) Bedienerführung während der Vorbereitung (Prüfparameter) und im Verlauf der Prüfung,
(3) Statistische Auswertung der Prüfergebnisse,
(4) Protokollieren des Prüfablaufs und der Auswertung.

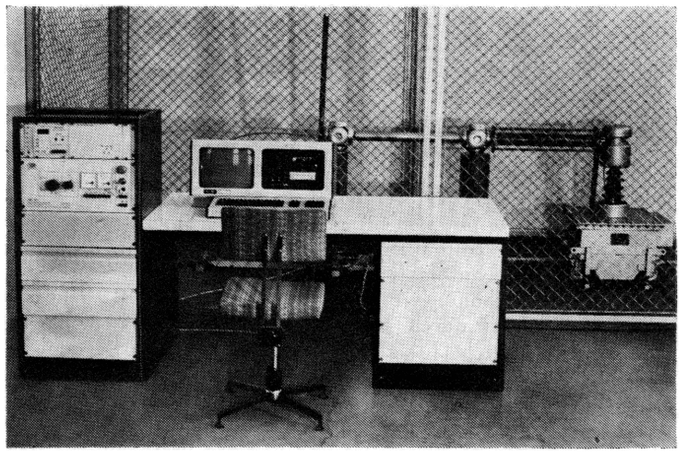
Während für die Prozeßsteuerung (1) nur eine maschinennahe Programmierung (Assembler) in Frage kommt, sind die übrigen Programme (2) bis (4) nicht zeitkritisch. Sie wurden in der weit verbreiteten Programmiersprache BASIC geschrieben, um dem Nutzer die Anpassung oder Ergänzung der Programme entsprechend seiner Aufgabenstellung zu ermöglichen.

2.2. Automatische Steuerung des Prüfprozesses

Während des Prüfablaufs werden realisiert:

— Regeln der Prüfspannung über einen vorgegebenen Zeitraum auf einen vorgegebenen Wert;
Überwachung der Prüfspannung (Genauigkeit $\pm 1\%$, Reaktionszeit 100 ms)
— Regeln der Spannungssteigerungsgeschwindigkeit auf einen vorgegebenen Wert
— Erfassen von Prüflingsdurchschlägen;
Speicherung des Spannungswertes (Reaktionszeit 10 µs, Abschaltung).

Auf die entsprechenden Assemblerroutinen wird aus dem übergeordneten BASIC-Programm interruptgesteuert übergegangen. Die Interrupts werden teils vom zufälligen Ereignis (z.B. Durchschlag), teils von Zeitgeberschaltungen abgeleitet. Auf diese Weise ist eine ausreichend schnelle Reaktion der Steuerung gewährleistet.



2.3. Bedienerführung und Auswertung

Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Hochspannungsprüfung erfolgen im Dialogbetrieb und werden nachfolgend anhand ausgewählter Menüs und des Flußdiagramms erläutert (Bilder 3 bis 8).
Im ersten Menü (Bild 3) wird der Bediener aufgefordert, Angaben zu allgemeinen Bedingungen der Prüfung zu machen und das Prüfverfahren auszuwählen. Diese Angaben werden für spätere Berechnungen (z.B. Klimakorrektur) oder die Protokollierung benötigt. Alle auf den Bildern unterstrichenen Angaben sind Antworten bzw. Ergänzungen des Bedieners.
Das folgende Menü (Bild 4) entspricht dem ausgewählten Spannungssteigerungsversuch (3) und erläutert auf seiner linken Seite die Prüfprozedur, während rechts der Bediener Zeile für Zeile aufgefordert wird, die Prüfparameter einzugeben. Ist diese Eingabe abgeschlossen, erscheint das die Durchführung der Prüfung charakterisierende Menü (Bild 5). Auf dessen linker Seite befinden sich die aktuellen Prüfdaten (Spannung, Polarität, Angaben zu Prüfzyklen usw.), rechts oben die Angaben, wie in die Prüfung eingegriffen werden kann. Unten rechts werden die registrierten Durchschlagspannungen abgelegt. Aus den drei Menüs (Bilder 3 bis 5) wird das Protokoll der Prüfung zusammengestellt, das durch die nachfolgende statistische Auswertung noch vervollständigt werden kann.
Nach Beendigung der Hochspannungsprüfung liegt eine Stichprobe (z.B. aus n Durchschlagspannungen) vor, von der die statistische Auswertung ausgeht. Beispielhaft wird nachfolgend auf die Auswertung von Spannungssteigerungsversuchen mit dem BASIC-Programm „STAT" (Bild 6) eingegangen. Der Nutzer wird auch hier im Dialogbetrieb Schritt für Schritt durch das Programm geleitet (dicke Linien), kann jedoch auch einzelne Programmteile überspringen oder wiederholt abarbeiten (z.B. grafische Darstellung in verschiedenen Maßstäben). Die statistische Unabhängigkeit als

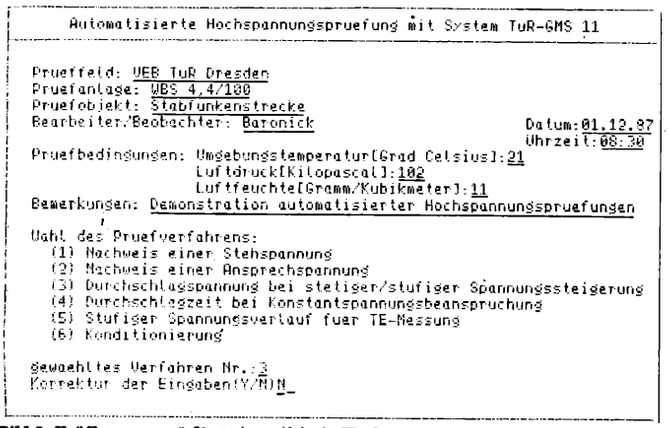


Bild 3. Eröffnungsmenü für automatisierte Hochspannungsprüfung

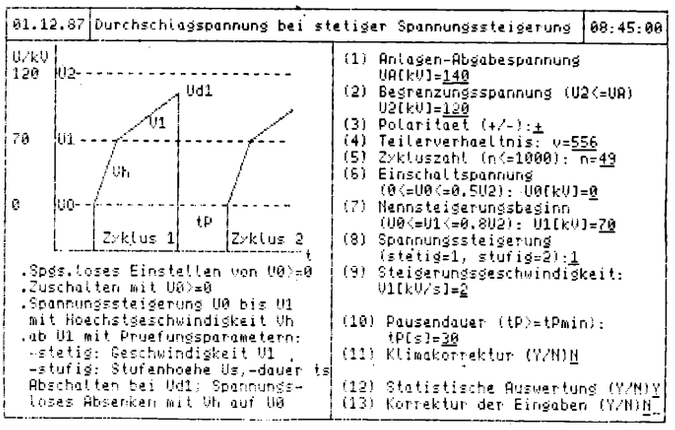


Bild 4. Erläuterung und Dateneingabe Spannungssteigerungsversuch

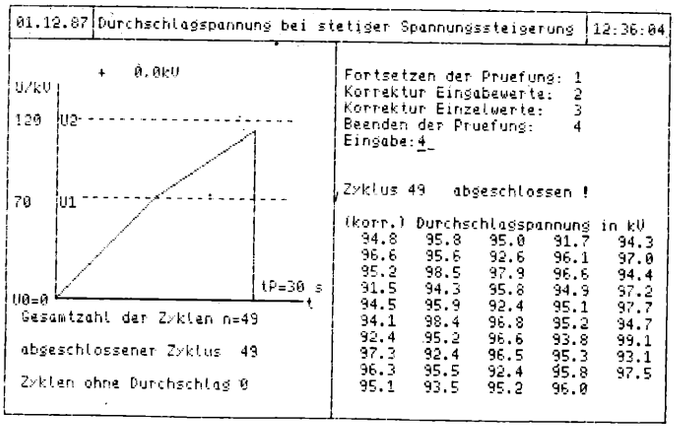


Bild 5. Bedienerführung während Spannungssteigerungsversuch

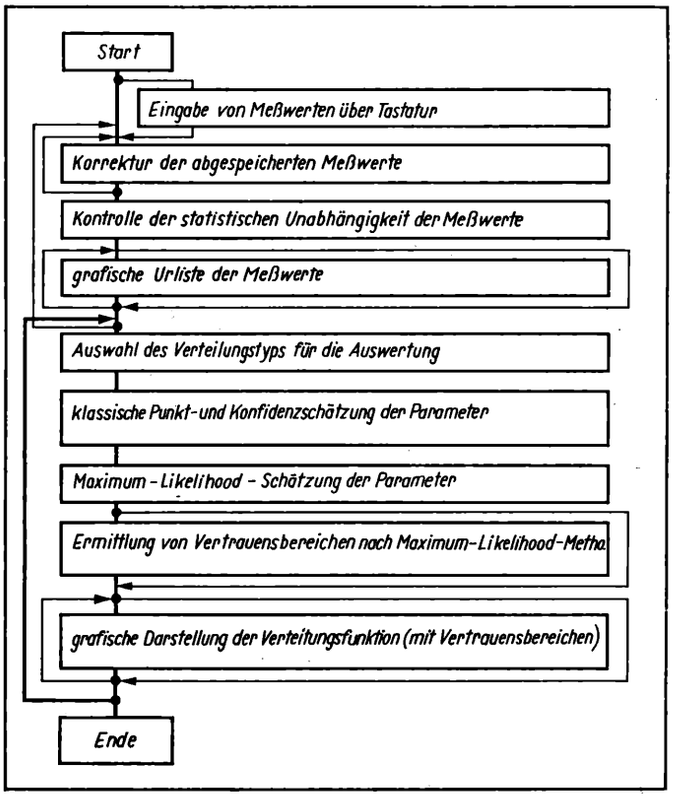


Bild 6. Struktur des Programms „STAT" zur Auswertung von Spannungssteigerungsversuchen

Voraussetzung für die statistische Auswertung wird nach zwei modifizierten Iterationstests [11] (Bewertung der Abweichungen vom Dichtemittel bzw. der Änderungsrichtungen zwischen aufeinanderfolgenden Realisierungen), einem Trendtest [11] (Vergleich von Anfang und Ende der Stichprobe) und nach der grafischen Urliste (Bild 7) bewertet. Letztere ergänzt als Hardcopy das Protokoll. Zur Erzielung der Unabhängigkeit können Korrekturen an der eingegebenen Stichprobe erfolgen (z. B. Streichung von Konditionierungswerten).

Danach ist auszuwählen, ob und mit welchem Verteilungstyp die empirische Verteilung approximiert werden soll. Die empirischen Verteilungen können durch fünf verschiedene theoretische Verteilungen (Normal-, Lognormal-, Weibull-2-, Weibull-3- und Doppelexponentialverteilung [11] [12]) angenähert werden. Für den gewählten Verteilungstyp werden klassische Punkt-, und soweit möglich, Konfidenzschätzungen ausgeführt [11]. Zusätzlich werden die Parameter nach der Maximum-Likelihood-Methode [12] [13] geschätzt, deren Lösung nicht allgemein, sondern nur numerisch ausgehend von klassischen Schätzungen erfolgen kann. Die Likelihood-Funktion

$$L = \prod_{i=1}^{n} f(x_i; \vartheta_1; \vartheta_2; \vartheta_3)$$

Bild 7. Ergebnis der Unabhängigkeitsbewertung

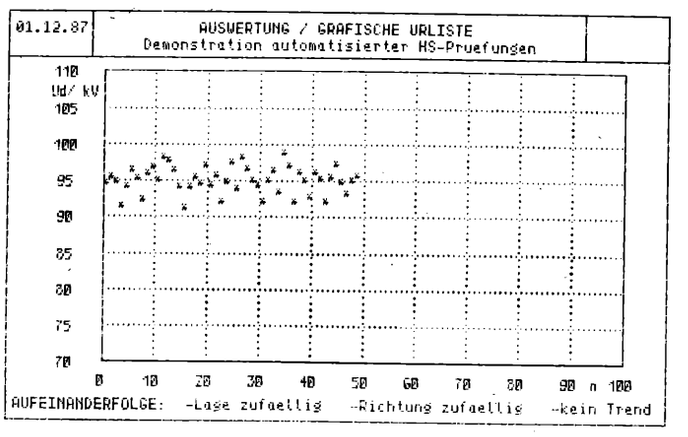
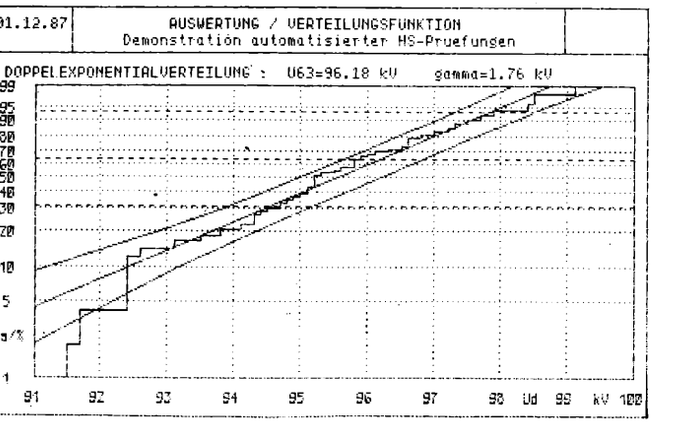


Bild 8. Zusammenfassung der statistischen Auswertung



berechnet die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der vorliegenden Stichprobe (Realisierungen x_l) bei Vorgabe beliebiger Parameterkombinationen der theoretischen Verteilung (z. B. Doppelexponentialverteilung: $\vartheta_1 = x_{63} = 95\,\text{kV}$; $\vartheta_2 = \gamma = 1{,}5\,\text{kV}$; $\vartheta_3 = 0$). Das Maximum dieser Funktion liefert die beste Punktschätzung der Parameter. Nach der absoluten Höhe der Maxima wird bei mehreren Approximationen die beste ausgewählt. Konfidenzschätzungen für die komplette Verteilung werden aus denjenigen Parameterkombinationen ermittelt, bei denen die Likelihood-Funktion einen bestimmten Teil ihres Maximalwertes nicht unterschreitet. Das Verfahren ist auch bei unvollständigen Stichproben, wenn z. B. wegen Erreichen der Prüfanlagen-Nennspannung nicht alle Beanspruchungen zum Durchschlag führten, einsetzbar [14].

Die abschließende grafische Darstellung (Bild 8) der Ergebnisse im entsprechenden Wahrscheinlichkeitspapier umfaßt die empirische Verteilungsfunktion, die geschätzte theoretische Verteilung und deren Vertrauensbereiche sowie die numerische Angabe der Verteilungsparameter. Als Hardcopy vervollständigt sie das Protokoll.

Das Auswerteprogramm kann auch „off-line" eingesetzt werden, wobei die Dateneingabe dann z. B. über Tastatur erfolgen muß.

3. Zusammenfassende Schlußfolgerung

Die ersten Betriebserfahrungen mit der Mikrorechnersteuerung von Hochspannungsprüfanlagen bestätigen die Erwartung, daß die Präzision der Versuchsdurchführung gravierend verbessert, die Auswertung perfektioniert und der Personaleinsatz deutlich reduziert werden kann. Der rechnergestützte Prüfablauf wird sich mit der rechnergestützten Meßtechnik (z. B. TE-Meßtechnik, Transformatoren-Prüftechnik usw.) und geeigneten Datenbanken vorteilhaft zu Expertsystemen verbinden lassen. Bereits in naher Zukunft ist damit zu rechnen, daß die überwiegende Anzahl neuer Hochspannungsprüfanlagen mit Mikrorechnersteuerungen ausgerüstet und alte Anlagen nachgerüstet werden müssen.

Literatur

[1] *Mosch, W.:* 50 Jahre Hochspannungslaboratorium an der Technischen Universität Dresden. ELEKTRIE, Berlin 33 (1979) 2, S. 81–84

[2] *Mosch, W.; Hauschild, W.:* Die Arbeit eines Hochspannungslaboratoriums an einer Universität unter Berücksichtigung der Anforderungen aus der Praxis. Wiss. Techn. Mitteilungen des IPH (1981) 23, S. 14–20

[3] *Bachmann, H.; Hauschild, W.:* Stand und Trend bei der Automatisierung von Hochspannungsprüfprozessen. 6. Wiss. Konferenz der Energiewirtschaft, IH Zittau (1982), S. 7–13

[4] *Bachmann, H.:* Ein Gerätesystem für den halb- und vollautomatischen Betrieb von Stoß- und Schaltspannungsprüfanlagen. ELEKTRIE, Berlin 23 (1969) 10, S. 428–430

[5] *Erdmann, D.; Mittmann, A.:* Gerätesystem für den halb- und vollautomatischen Betrieb von Hochspannungsprüfanlagen. ELEKTRIE, Berlin 35 (1981) 8, S. 434–436

[6] *Strauss, W.:* Automatisierung der Stoßspannungsprüfung mit Mikrocomputern im Echtzeitbetrieb unter Einsatz eines Transienten-Recorders. Dissertation TU Berlin (West) 1983

[7] *Lautenschläger, H.:* Untersuchungen zum Vorentladungs- und Durchschlagverhalten von Isolierungen mit SF_6-Gas-Gemischen im inhomogenen Feld. Dissertation TH Darmstadt 1985

[8] *Rowe, S. W.:* Expertsystem für ein UHV Laboratorium (engl.). 5 ISH, Braunschweig (1987), Beitrag 63.12

[9] *Haller, R.; Bachmann, H.; Hauschild, W.:* Aspekte von rechnergestützten Hochspannungsprüfungen (engl.). 5. ISH Braunschweig (1987), Beitrag 63.10

[10] *Habiger, E.:* Elektromagnetische Verträglichkeit. Reihe Automatisierungstechnik, Nr. 212. Berlin: VEB Verlag Technik 1984

[11] *Hauschild, W.; Mosch, W.:* Statistik für Elektrotechniker. Berlin: VEB Verlag Technik 1984

[12] *Müller, P. H.*, u. a.: Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik – Lexikon der Stochastik. Berlin: Akademie-Verlag 1975

[13] *Carrara, G.; Hauschild, W.; Gururai, B. I.:* Statistische Auswertung von Hochspannungsprüfungen (engl.). In Vorbereitung für ELECTRA (1988)

[14] *Speck, J.:* Statistische Auswertung experimenteller Daten zur Alterung elektrischer Betriebsmittel. 11. Wiss. Konferenz der TU Dresden (1987), Beitrag H2-08

EA 5903

Zur Bemessung des Primärblitzschutzes von Umspannwerken auf der Grundlage des Streamer-Leader-Modells langer Luftfunkenstrecken

J. Pilling, KDT; Zittau; E. Lemke, KDT; Dresden

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. *Wolfgang Mosch* zum 60. Geburtstag gewidmet

Für den Primärblitzschutz in Umspannwerken ist zu berücksichtigen, daß dem Blitzkopf zwei grundlegende Elektrodenformen gegenüberstehen: Stabelektroden (Blitzfangstangen) und Linienelektroden (Leiterseile, Erdseile). Die Entwicklungsbedingungen für Fangentladungen sind an Stabelektroden günstiger als an Linienelektroden. Daraus resultiert eine größere Durchschlag-Schlagweite vom Blitzkopf zur Stabelektrode als zur Linienelektrode. Das Verhältnis wird geschätzt. Für das Blitzkugelverfahren resultieren daraus zwei verschiedene Kugelradien für denselben Blitzkanal. Es kann einfach zu einem Doppel-Kugel-Verfahren erweitert werden.

1. Modellvorstellung

Blitzschutzanlagen in Freiluft-Umspannwerken zur Verhinderung von Direkteinschlägen in die Sammelschienen werden mit dem Blitzkugelverfahren dimensioniert [1] [2]. Ein von der Wolke ausgehender Blitz entwickelt sich in mehreren Ruckstufen zur Erde. Vor der letzten Ruckstufe, dem Enddurchschlag, befindet sich der Kopf des Leitblitzes in der sog. kritischen Höhe. Diese Enddurchschlagstrecke ist eine Funktion der Blitzstromstärke. Dafür liegen Schätzungen vor, die im folgenden nicht näher betrachtet werden sollen.

Im geometrisch-elektrischen Modell wird davon ausgegangen, daß der Enddurchschlag in die geerdete Elektrode mit der kürzesten Schlagweite zum Kopf des Leitblitzes erfolgt. Dabei bleiben bisher Teilentladungen an den geerdeten Elektroden, sog. Fangentladungen, unberücksichtigt. Da sie aber mit Sicherheit den Einschlagort beeinflussen, soll im folgenden ihre Wirkung abgeschätzt und bei der Dimensionierung der Blitzfangeinrichtungen sowie bei der Schätzung der Wahrscheinlichkeit von Fehleinschlägen (Direkteinschläge in das Leiterseil) berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang können grundlegende Erkenntnisse zu den Einsatz- und Wachstumsprozessen von Streamer- und Leaderentladungen in langen Luftfunkenstrecken bei Schaltimpulsspannung genutzt werden, weil die vorwachsende Teilentladung in Richtung der Raumladungselektrode des Blitzkopfes ebenfalls aus einer Reihenschaltung von Streamer- und Leaderentladung besteht. Sie sind im Gegensatz zum vorliegenden Fall mit dem Ziel erarbeitet worden, den Einsatz von Leaderentladungen zu vermeiden. Für die Betrachtungen wird davon ausgegangen, daß das Wachsen der Fangentladungen (Leader) in Richtung der Raumladungselektrode des Blitzkopfes als ein Durchschlag von der Erdelektrode zum Blitzkopf aufgefaßt werden kann. Somit kann die Schutzwirkung von Blitzfangelektroden unterschiedlicher Form auf der Grundlage der Durchschlagspannung $\hat{u}_d$-Schlagweite-s-Kennlinien unipolarer Elektrodenanordnungen bei großer Schlagweite ermittelt werden. Bei parallel geschalteten Erdelektroden mit unterschiedlicher $\hat{u}_d$-s-Kennlinie zu einem gegenüberliegenden Blitzkopf (Bild 1) erfolgt nach diesem Modell der Durchschlag in die Elektrode mit der größeren Durchschlag-Schlagweite s_d. Es liegt nahe, diesen Einfluß im Blitzkugelverfahren zu berücksichtigen.

Prof. Dr. sc. techn. *Jürgen Pilling* ist Inhaber des Lehrstuhls für Hochspannungstechnik an der Sektion Elektroenergieversorgung der Ingenieurhochschule Zittau; Prof. Dr. sc. techn. *Eberhard Lemke* ist Professor für Hochspannungstechnik an der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden.

Die Verfasser danken Herrn Dipl.-Ing. *Frank Siwek* für die Unterstützung im Rahmen seiner Diplomarbeit.

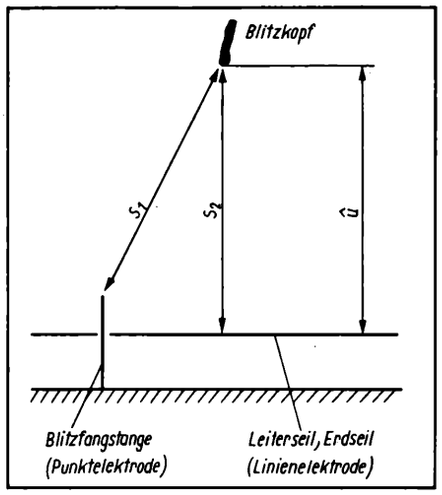


Bild 1
Modellanordnung

2. $\hat{u}_d$-s-Kennlinien für große Schlagweiten

Der Durchschlag von Luftfunkenstrecken mit großer Schlagweite entwickelt sich aus einer Leaderentladung mit vorgelagerter Streamerentladung. Bei geringer Schlagweite ($s < 1$ m) erreichen die Streamerentladungen die Gegenelektrode, bevor sich an ihrem Ausgangspunkt eine instabile Leaderentladung bilden kann. Durchschlagkriterium ist das Eintreffen der Streamerentladungen an der Gegenelektrode. Bei großer Schlagweite ist als zusätzliches Durchschlagkriterium das Einsetzen der instabilen Leaderentladungen zu berücksichtigen. Im Streamer-Leader-Modell [3] wird dem Leadereinsatz eine Mindestreichweite der Streamer a_0 zugeordnet, die offenbar in einem Zusammenhang zu der für den Leadereinsatz erforderlichen Stromdichte steht. Auf dieser Basis ergibt sich eine allgemeingültige Gleichung:

$$u_d = E_{s0} \cdot a_0 \left[1 + \ln \frac{s}{a_0} + \frac{E_{L0}}{E_{s0}} \ln \left(\frac{s}{a_0} - \ln \frac{s}{a_0}\right)\right] \quad (1)$$

mit

E_{s0} = 450 kV/m (Einsatzelektrode positiv),
E_{s0} = 1000 kV/m (Einsatzelektrode negativ),
E_{L0} = 150 kV/m.

Die kritische Streamerreichweite a_0 ist von der Polarität und von der Gestalt der Elektrode abhängig [4]:

Stabelektrode (positiv) — Platte: $a_0 = 0{,}8$ m,
Linienelektrode (positiv) — Platte: $a_0 = 1{,}05$ m.

Aus Grundlagenuntersuchungen an großflächigen Elektroden kann als maximal möglicher Wert für a_0 etwa 3 m abgeschätzt werden [5].

Im Schlagweitenbereich bis zu 30 m werden diese Approximationen recht gut bestätigt.

Zur Abschätzung der Wirkung von Fangentladungen erfolgt eine Einschränkung auf die positive Polarität, d.h. auf die häufigeren negativen Wolke-Erde-Blitze. Außerdem ist eine Extrapolation zu größeren Schlagweiten erforderlich. Für $s \gg a_0$ kann (1) vereinfacht werden (Bild 2):

$$\hat{u}_d = a_0 \left(E_{s0} + (E_{s0} + E_{L0}) \ln \frac{s}{a_0}\right). \quad (2)$$

Es ist zu erkennen, daß die Durchschlagspannung stark von a_0 abhängig ist. Im Hinblick auf den Blitzschutz ist das Verhältnis der Durchschlag-Schlagweiten für gleiche Spannung $\hat{u}$ und unterschiedlichen Wert a_0 interessant. Man erhält aus (2)

$$s = a_0 \cdot \exp\left(\frac{\hat{u}_d - E_{s0} \cdot a_0}{a_0 (E_{s0} + E_{L0})}\right) \quad (3)$$

und damit zu Bild 1:

$$\frac{s_2}{s_1} = \frac{a_{02}}{a_{01}} \cdot \exp\left(\frac{\hat{u}_d (a_{01} - a_{02})}{a_{01} a_{02} (E_{s0} + E_{L0})}\right). \quad (4)$$

Wird $\hat{u}_d$ durch s_1 ersetzt, folgt

$$\frac{s_2}{s_1} = \frac{a_{02}}{a_{01}} \cdot \exp - \left[\frac{a_{02} - a_{01}}{a_{02}} \left(\frac{E_{s0}}{E_{s0} + E_{L0}} + \ln \frac{s_1}{a_{01}}\right)\right]. \quad (5)$$

Mit den o.g. Werten erhält man (Bild 3):

$$\frac{s_2}{s_1} = 1{,}31 \cdot \exp - \left(0{,}18 + 0{,}24 \cdot \ln \frac{s_1}{0{,}8}\right). \quad (6)$$

Die Durchschlag-Schlagweite von einer Linienelektrode zum Blitzkopf s_2 ist also wesentlich geringer als von einer Stabelektrode zum Blitzkopf s_1. Der Blitz wird daher von einer Punktelektrode in einer wesentlich größeren Entfernung eingefangen als von einer Linienelektrode, wenn Fangentladungen entstehen können.

3. Modifizierung des Blitzkugel-Verfahrens

Wird die Schlagweite s_1 als die aus der Blitzstromstärke resultierende Enddurchschlagstrecke [1] und damit als Radius der Blitzkugel r_1 betrachtet, so liegt es nahe, bei Anwesenheit von exponierten Punkt- und Linienelektroden — wie es für Umspannwerke typisch ist — mit einem Doppel-Kugel-Verfahren zu arbeiten (Bild 4).

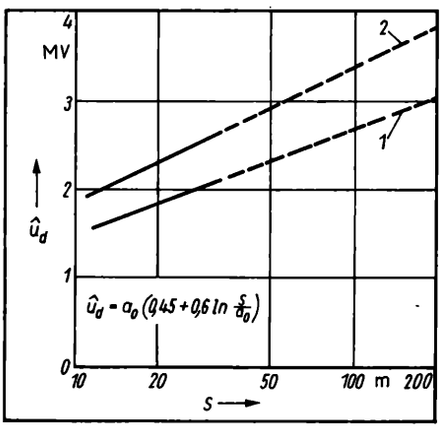


Bild 2
$\hat{u}_d$-s-Kennlinien von Punktelektrode — (1) bzw. Linienelektrode (2) — Platte-Anordnung bei positiver Schaltimpulsspannung [3] [4]

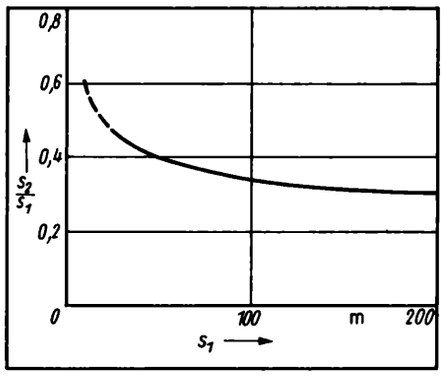


Bild 3
Verhältnis der Durchschlag-Schlagweiten von Linienelektrode (s_2) bzw. Punktelektrode (s_1) zum Blitzkopf

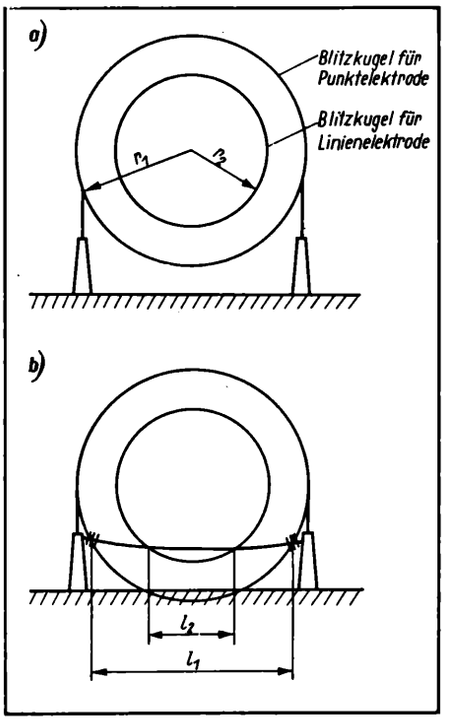


Bild 4
Doppelkugel-Verfahren für die Dimensionierung von Blitzschutzanlagen in Umspannwerken
a) Leiterseil geschützt;
b) Leiterseil in der Strecke l_2 ungeschützt

Befinden sich Blitzfangstangen auf den Portalen, so liegt auf ihnen die äußere Kugel auf (Bild 4a). Die Leitung ist erst dann nicht geschützt, wenn sie von der inneren Kugel geschnitten wird. Damit kann z. B. die Höhe der Blitzfangstangen für die der Projektierung zugrunde liegende Schutzwirkung um die Strecke $r_2 - r_1$ verringert werden, wenn der Abstand der Portale unverändert bleibt. Andererseits kann für bestehende Anlagen ein geringerer Gefährdungsgrad ausgewiesen werden (Bild 4b). Die ungeschützte Strecke verringert sich vom Wert l_1, berechnet nach dem Einfach-Kugel-Verfahren, auf l_2 nach dem Doppel-Kugel-Verfahren unter Berücksichtigung der Fangentladungen.

Hinsichtlich der Wahl des Verhältnisses r_1/r_2 sollte aber die Stochastik des Enddurchschlags berücksichtigt werden. Die Durchschlag-Schlagweiten s_1 bzw. s_2 für eine angenommene gleiche Spannungsbeanspruchung sind Zufallsgrößen. Es ist zu erwarten, daß die Einschlaghäufigkeit für das nach (5) oder (6) berechnete Verhältnis gerade gleich ist (50 %). Der Einschlag in die Punktelektrode soll aber ein nahezu sicheres Ereignis sein. Daher muß das Verhältnis r_1/r_2 verringert werden. Vereinfachend wird angenommen, daß die Durchschlag-Schlagweite normalverteilt ist und der Variationskoeffizient $v = 10\,\%$ beträgt. Die Forderung des Blitzschutzes wird als erfüllt betrachtet, wenn s_1 auf den Wert $s_1' = s_1\,(1 - 3\,v)$ verringert wird. Damit erhält man z. B. für $s_1 = 40$ m (Bild 3):

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{s_2}{s_1'} = \frac{0{,}41 \cdot 40}{28} = 0{,}59\,. \qquad (7)$$

Das Verhältnis r_2/r_1 wird geringer, wenn Bündelleiter als Sammelschienen eingesetzt werden, da sich der Wert a_0 vergrößert. Für einen Bündelleiter aus 4 Einzelleitern wird $a_0 = 1{,}5$ angegeben [4]. Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um zu klären, wie weit eine Blitzfangstange die anderen Anlagenteile mindestens überragen muß, damit sicher mit $a_0 = 0{,}8$ m gerechnet werden kann.

4. Schlußfolgerungen

Die Anwendung des Streamer-Leader-Modells auf den Enddurchschlag von Wolke-Erde-Blitzen ermöglicht eine Relativbewertung der Fangwirkung von Punktelektroden (Blitzfangstangen) gegenüber Linienelektroden (Sammelschienen). Daraus kann das Verhältnis der Radien r_1 und r_2 für ein Doppel-Kugel-Verfahren geschätzt werden. Das ermöglicht für eine vorgegebene Sicherheit gegen Direkteinschläge in die Sammelschiene eine geringere Höhe der Blitzfangstangen oder einen größeren Abstand gegenüber dem Einfach-Kugel-Verfahren.

Eine Weiterentwicklung des Verfahrens für andere Kombinationen geerdeter Elektroden und Objekte ist denkbar, setzt aber eine Ermittlung der in dieser Anordnung wirksamen Werte der kritischen Streamerreichweite a_0 voraus.

Literatur

[1] *Wiesinger, J.; Hasse, P.:* Handbuch für Blitzschutz und Erdung. München: Richard Pflaum-Verlag KG 1977

[2] *Hofbauer, F.:* The protection of high voltage substations against lightning. 5. Intern. Symposium Hochspannungstechnik, Braunschweig 1987, Bericht 81.04

[3] *Lemke, E.:* Beitrag zur Abschätzung der Durchschlagspannung langer Luftfunkenstrecken. Informations- und Energietechnik, Leipzig 3 (1974) 4, S. 186 bis 192

[4] *Lemke, E.*, u. a.: Ein Kalibrierungsverfahren für das Streamer-Leader-Modell in bezug auf die Vorherbestimmung des Schaltspannungsisoliervermögens langer Luftfunkenstrecken. CIGRE 33-85 WG 07 28 1WD

[5] *Dietrich, M.:* Dimensionierung von großflächigen Elektroden für Hochspannungsprüfanlagen mit Abgabespannungen im Megavolt-Bereich. Dissertation TU Dresden, 1982

EA 5905

Vor-Ort-Prüfung einer SF_6-isolierten Schaltanlage mit oszillierender Blitzspannung

W. Hauschild, KDT; J. Wolf, KDT; Dresden; J. Schwarz, KDT; Berlin

Mitteilung aus dem VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" (TuR) Dresden und dem VEB Transformatorenwerk Karl Liebknecht (TRO) Berlin

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. *Wolfgang Mosch* zum 60. Geburtstag gewidmet

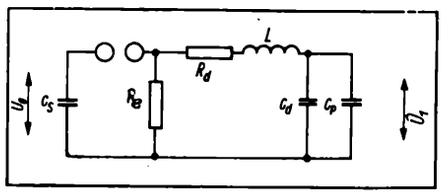
SF_6-isolierte Schaltanlagen (GIS) des Typs GSAS 123 (Hersteller: TRO wurden nach ihrer Errichtung vor Ort bisher einer Wechselspannungsprüfung unterzogen, die durch eine Teilentladungsmessung hoher Empfindlichkeit ergänzt wurde. Da in der neu errichteten Industrieschaltanlage Daspig der Grundstörpegel wegen örtlicher Gegebenheiten (benachbarte alte Freiluftschaltanlage, Rundfunksender im Nahbereich) nicht ausreichend reduziert werden konnte, wurde zum Nachweis ortsfester Störstellen erstmals in der DDR eine Vor-Ort-Prüfung mit oszillierender Blitzspannung mit der Impulsspannungsprüfanlage IP 5/250 KM (Hersteller: TuR) durchgeführt. Diese Prüfung ist in ihrer Aussage sehr eindeutig und erwies sich als vorteilhaft ausführbar, so daß sie zukünftig die Wechselspannungsprüfung ergänzen sollte. Philosophie, Probleme und Durchführung der Vor-Ort-Prüfung mit oszillierender Blitzspannung werden nachfolgend behandelt.

1. Situation bei GIS-Vor-Ort-Prüfungen

Mit der Vor-Ort-Prüfung, die eine erfolgreiche Werksendprüfung von Transporteinheiten stets voraussetzt, sollen durch Transport, Lagerung und Endmontage entstandene und den zuverlässigen Betrieb gefährdende Störstellen (ortsfest: Montagefehler, Grate, an Elektroden und Isolierteilen haftende Metallpartikel; freibeweglich: Metallpartikel) erkannt werden. Die neue IEC Publikation 517 (1986) [1] läßt Prüfungen mit Wechselspannung (10 Hz bis 300 Hz), aperiodisch und oszillierenden Blitz- (LI bzw. OLI: Stirnzeit 0,8 bis 15 µs) sowie Schaltspannungen (SI bzw. OSI: Scheitelzeit 150 bis 10000 µs) zu und überläßt die Auswahl von Spannungsform und Prüfprozedur einer Übereinkunft von Hersteller und Anwender. Sie ist damit nur der kleinste gemeinsame Nenner der sehr unterschiedlichen Philosophien zur Vor-Ort-Prüftechnik SF_6-isolierter Schaltanlagen [2]. Die konkrete Auswahl sollte vielmehr an physikalische Überlegungen anknüpfen [3] [4]:

Den Betrieb gefährdende, freibewegliche Partikel werden nur mit Wechselspannung von Betriebsfrequenz nachgewiesen. Abweichende Frequenzen führen zu geänderten Durchschlagmechanismen (z. B. Partikel richten sich auf und wirken als feste Störstellen [5]), so daß die Bewertung des Prüfergebnisses zumindest problematisch ist. Je höher die GIS-Nennspannung ist, umso weniger sind wegen der vergrößerten Isolierstrecken freibewegliche Partikel zu fürchten. Demnach ist besonders bei GIS-Nennspannungen bis etwa 245 kV eine betriebsfrequente Wechselspannungs-Vor-Ort-Prüfung anzuraten.

Bild 1. Einstufiges Ersatzschaltbild. U_0 Ladespannung; C_S Stoßkapazität; R_e Entladewiderstand; R_d Dämpfungswiderstand; L Drosselspule; C_T Teiler; C_P Prüfling; $C_b = C_T + C_P$ Belastungskapazität; $\hat{U}_1$ Prüfspannung



Dr. sc. techn. *Wolfgang Hauschild* ist Leiter, Dipl.-Ing. *Jürgen Wolf* ist Entwicklungsingenieur im Anlagenlabor des Werkes Energietechnik/VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann-Matern" Dresden; Dr.-Ing. *Jochen Schwarz* ist Entwicklungsbereichsleiter Schaltgeräte im VEB Transformatorenwerk „Karl Liebknecht" Berlin.

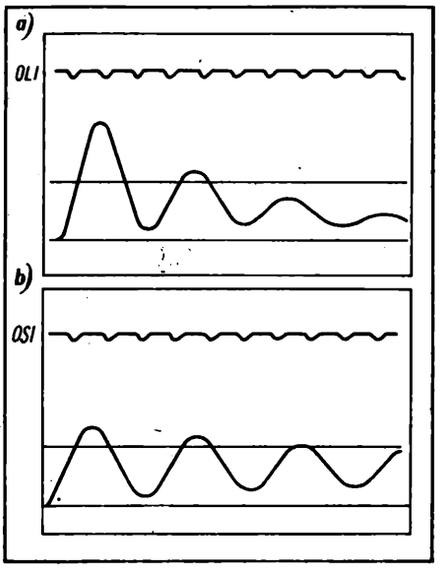


Bild 2
Oszillierende Impulsspannungen
a) $C_P = 3$ nF
$T_{CR} = 7{,}2\,\mu s$
$\eta = 1{,}82$
b) $C_P = 3$ nF
$T_{CR} = 163\,\mu s$
$\eta = 1{,}72$
Periode von OLI: 5 μs,
Periode von OSI: 100 μs

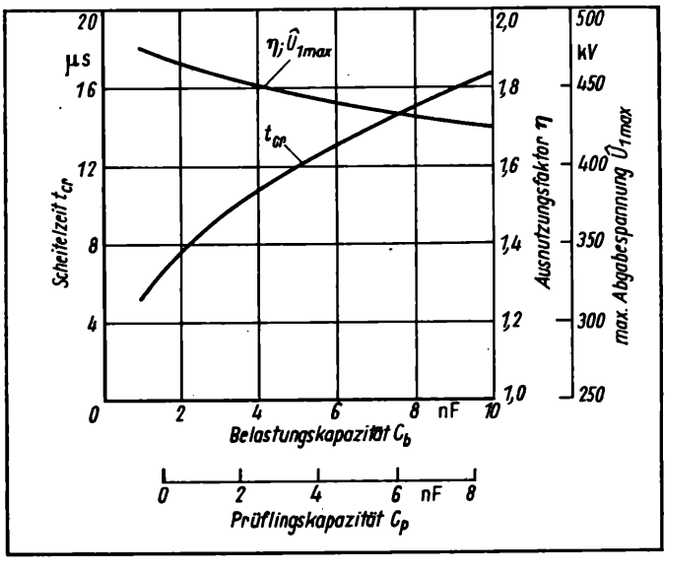


Bild 3
OLI-Charakteristik des Generators IP 5/250

Den Betrieb gefährdende ortsfeste Störstellen können, wie schon frühzeitig erkannt wurde [6], mit empfindlichen TE-Einsetzspannungsmessungen oder mit einer Blitzspannungsprüfung nachgewiesen werden. Bei Blitzspannung bilden sich feldvergleichmäßigende Raumladungen nicht oder nicht so intensiv wie bei Wechsel- oder Schaltspannung aus. Trotzdem hat sich die Blitzspannungsprüfung zunächst nicht durchgesetzt, man versuchte für GIS höhere Nennspannung, bei denen die Wechselspannungs-Erzeugung vor Ort problematisch ist, mit dem Konzept der oszillierenden Schaltspannung (OSI) die als kritischer bewertete Wechselspannung nachzuahmen [7]. Obwohl die OSI-Prüfung als bewährt beschrieben wird, traten in der Praxis Fehler auf, die die Notwendigkeit einer Blitzspannungsprüfung unterstrichen (s. z. B. Diskussion zu [4] in [2]). Die vorteilhaft durchführbare OLI-Prüfung setzt sich deshalb international verstärkt durch [8] [9]. Gegenüber einer empfindlichen TE-Prüfung vor Ort hat sie zwar den Nachteil, daß eine zusätzliche Hochspannungsprüfanlage aufgebaut werden muß, doch den großen Vorteil der Unabhängigkeit von äußeren Störeinflüssen und der Eindeutigkeit des Prüfergebnisses (Durchschlag bei der Prüfung bedeutet, daß eine gefährliche Störstelle vorhanden ist). Ein gewisser TE-Pegel ist unter Berücksichtigung der vor Ort nicht meßbaren „impulslosen" Teilentladungen [3] [4] dagegen bezüglich der Gefährlichkeit der verursachenden Störstelle sehr schwer einzuschätzen. Zur Ortung einer möglicherweise festgestellten Störstelle empfehlen sich akustische [2] [10] oder moderne elektromagnetische [11] Verfahren der TE-Dedektion.
Diese zusammenfassende Betrachtung der physikalischen Erscheinung und des internationalen Trends zeigt, daß auch in der DDR zwischen GIS-Herstellern und Anwendern eine OLI-Prüfung vereinbart werden sollte, die neben der Wechselspannungsprüfung das Prüfergebnis festlegt. Eine die Wechselspannungs-Prüfung ergänzende TE-Messung ist durchzuführen, doch sollte sie die Prüfung in der Regel nicht entscheiden. Ist der Grundstörpegel > 30 pC, kann auf die TE-Messung verzichtet werden. Nach den Ergebnissen von *Petzold* [12] kann eine OSI-Prüfung völlig entfallen. Der durch IEC 517 [1] zugelassene Stirnzeitbereich der OLI (s. o.) sollte eingeschränkt werden: Für OLI ist besser die Scheitelzeit zu betrachten, die zur Vermeidung von Wanderwelleneffekten in der GIS 2 μs nicht unterschreiten und wegen sich andeutender Raumladungseffekte 20 μs nicht überschreiten darf ($t_{CR} = 20\,\mu s$ ist auch die Grenze der Blitzspannungsdefinition nach IEC Publikation 60 [13]). Nachfolgend wird auf Probleme der Erzeugung von OLI und auf die Durchführung einer OLI-Vor-Ort-Prüfung eingegangen.

2. Erzeugung oszillierender Blitzspannung

Oszillierende Impulsspannungen können mit üblichen Marx-Generatoren erzeugt werden, bei denen zwischen Generator (Stoßkapazität C_s) und Belastungskapazität C_b (kapazitiver Teiler als Grundlast C_T und GIS als Prüfling C_P) eine Drosselspule L geschaltet wird [7]. Da im Ersatzschaltbild (Bild 1) der Entladewiderstand vernachlässigt werden darf, entsteht ein einfacher Reihenschwingkreis, der eine abklingende $(1 - \cos \omega_0 t)$-Schwingung liefert, für die eine Scheitelzeit [13] nach

$$t_{CR} = \frac{\pi}{\sqrt{\frac{C_s + C_b}{L C_s C_b} - \frac{R_d^2}{4 L^2}}} \qquad (1)$$

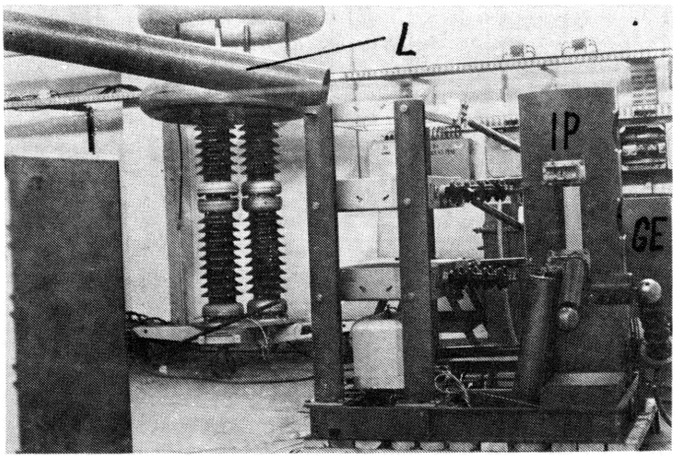
mit guter Näherung berechnet werden kann [14] [15]. Die Frequenz dieser Schwingung (Bild 2) wird bei einem vorgegebenen Impulsgenerator (C_s, R_d) und den für GIS-Prüfungen typischen Belastungen ($C_b = 2$ bis 10 nF) hauptsächlich durch die Induktivität der Drosselspule bestimmt, die für OSI bei wenigen Henry, für OLI bei wenigen Millihenry liegt. (Die Drossel ist deshalb für OLI sehr einfach ausführbar, für OSI muß durch Elektroden oder Kondensatoren die Spannungsverteilung im Durchschlagfall sorgfältig gesteuert werden). Im ungedämpften theoretischen Fall erreicht die erste Schwingungsamplitude $\hat{U}_1$ am Prüfling den zweifachen Wert der Summenladespannung U_0 des Generators, im realen Fall der gedämpften Schwingung gilt für das Verhältnis $\hat{U}_1/U_0$ und damit für den Ausnutzungsfaktor

$$\eta = \frac{\hat{U}_1}{U_0} = \frac{C_s}{C_s + C_b}\left[\exp\left(\frac{-t_{CR}}{R_e (C_s + C_p)}\right) + \exp\left(\frac{-R_d\, t_{CR}}{2L}\right)\right]. \qquad (2)$$

Die Drosselspule wird mit (1) nach einer vorgegebenen Scheitelzeit (z. B. $t_{CR} = 10\,\mu S$ für OLI) dimensioniert. Danach können abhängig von der zu erwartenden Prüflingskapazität $C_p = C_b - C_T$ die sich einstellenden Scheitelzeiten und Ausnutzungsfaktoren berechnet werden (Bild 3).
Der hohe Ausnutzungsfaktor ermöglicht es, die vorgegebene Prüfspannung der 123-kV-Schaltanlage (GSAS 123) mit einem Impulsgenerator der TuR-Baureihe K für $U_0 \leqq 250$ kV zu erzeugen (Energie $W = 5$ kJ, $C_s = 160$ nF, 2 Stufen), während der kapazitive Teiler für $U = 500$ kV auszulegen ist ($C_T = 1{,}5$ nF). Die erwähnte Baureihe [16] ist für den Vor-Ort-Einsatz vorbereitet, kann fahrbar geliefert werden und hat geringe Masse (z. B. IP 5/250 hat 530 kg; 2,5 m³). Sie wird durch eine moderne Steuerung [17] ergänzt, die den halbautomatischen Betrieb auch vor Ort ermöglicht. Stell- und Ladeaggregat sind eine metallgekapselte, fahrbare Einheit (0,5 m³; 430 kg), Generator, Ladeaggregat und Steuerschrank werden mit vorgefertigten Kabeln zusammen geschaltet.

3. Durchführung der OLI-Vor-Ort-Prüfung

Schaltanlagen vom Typ GSAS 123 sind einphasig gekapselt. Jede Phase wurde zur Vor-Ort-Prüfung mit einer Prüfdurchführung versehen, die gleichermaßen für die Wechselspannungs-Prüfung/TE-Messung und für die hier behandelte OLI-Prüfung benutzt wurde. Für die 460-kV-OLI-Prüfanlage (Bild 4) wird hochspannungsseitig etwa die gleiche Fläche wie für eine 200-kV-Wechselspannungsprüfanlage mit TE-Prüfkreis benötigt, mit der vorher geprüft worden war. Niederspannungsseitig ist der Platzbedarf geringer. Die Aufstellung der OLI-Prüfanlage IP 5/250 KM vor Ort dauerte einschließlich Funktionsprobe 5 h, kürzere Zeiten sind zukünftig er-



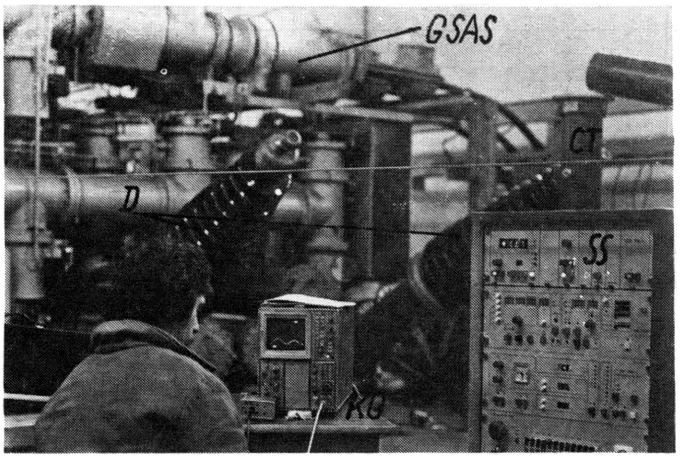


Bild 4. OLI-Prüfaufbau vor Ort
a) Impulsgenerator (IP), Ladeaggregat (GE) und Drosselspule (L) (der Koppelkondensator im Hintergrund gehört nicht zum Prüfaufbau);
b) Teiler (CT), Prüfdurchführungen (D), Prüfling (GSAS), Steuerschrank (SS) und Speicheroszilloskop (KO)

reichbar. Bild 5 zeigt die benutzte Prinzipschaltung. Zur Fehlerindikation (Durchschlag) wird die Prüfanlage TuR-IP 5/250 KM durch ein analoges Speicheroszilloskop ergänzt. Um diese erste OLI-Prüfung in der DDR umfassend dokumentieren zu können, wurde zusätzlich ein Transientrekorder zur Erfassung jedes OLI-Impulses eingesetzt. Im Off-line-Betrieb wurden bei der Auswertung jeweils komplette Prüfzyklen zusammengestellt[1]) (Bild 6, der OLI in diesem Bild überlagerte, im Anfangsbereich besonders intensive Schwingungen entstehen durch elektromagnetische Störbeeinflussung des völlig ungeschirmten Transientrekorders und sind demnach nicht für OLI charakteristisch, vgl. Bild 2).

Die in der Industrieschaltanlage Daspig eingesetzte SF_6-isolierte Schaltanlage des Typs GSAS 123-2 wurde als Doppelsammelschienenanlage mit 15 Feldern mit stehenden Leistungsschaltern ausgeführt (Bild 7). Die Anlage hat Einfach- und Doppelkabelabgänge und ist über zwei Längstrennungen (Felder 8 und 10) und ein Kuppelfeld (Feld 9) in die Blöcke A und B geteilt. Während der OLI-Prüfung waren Spannungswandler und Kabel nicht angeschlossen. Für jede Phase der Schaltanlage und alle charakteristischen Leistungsschalter- bzw. Trennerstellungen (insgesamt 50 verschiedene Schaltungen) wurde ein kompletter Prüfzyklus durchfahren. In Übereinstimmung mit IEC 517 [1] enthält ein Zyklus je drei Impulse $\hat{U}_p$ beider Polaritäten und zusätzliche Einstellimpulse bei etwa 50%, 60% und 80% von $\hat{U}_p$ (Bild 6). Die Prüfung einer Schaltung gilt als bestanden, wenn während des Zyklus kein Durchschlag auftritt.

Praktisch wurde so vorgegangen, daß beim ersten Einstellstoß ($\approx 0{,}5\ \hat{U}_p$) der exakte Ausnutzungsfaktor des Generators ($\eta = \hat{U}_1/U_0 = \hat{U}_1/2\,U_L$ für die betrachtete Schaltung (C_p nicht exakt bekannt) ermittelt und mit diesem die Ladespannungen U_L alle weiteren Impulse des Zyklus berechnet worden ist. Beim halbautomatischen Betrieb der Anlage mußten diese Ladespannungen am Steuergerät SQS 6 nur noch an Dekadenschaltern eingestellt und die Anlage gestartet werden. Diese komfortable Bedienung gewährleistete einen sehr zügigen Prüfablauf, denn die Pausenzeiten zwischen den Impulsen eines Zyklus konnten bis auf 20 s reduziert werden, die Pausen zwischen Zyklen wurden durch die notwendigen Schalthandlungen am Prüfling (GSAS 123) bestimmt.

Nach den Erfahrungen von Laboruntersuchungen [12] kann sich die Bewertung der Oszillogramme (Bild 6) auf die erste Periode der abklingenden Schwingung beschränken, spätere Durchschläge sind ausgeschlossen. Bei der geprüften Anlage GSAS 123 traten bei keinem der 50 Zyklen Durchschläge auf.

Bild 5. Blockschaltbild der durchgeführten OLI-Vor-Ort-Prüfung
1 Ladeaggregat (Thyristorsteller, Gleichspannungserzeuger); 2 Generator ($U_0 \leqq 250$ kV); 3 Drosselspule; 4 Teiler ($\hat{U}_1 \leqq 460$ kV); 5 Prüfling; 6 Transientrekor; der; 7 Analoges Speicheroszilloskop; 8 Steuerschrank (Scheitelspannungs-Meßgerät-Steuergerät, Halbautomatik, Steuer- und Meßeinschub)

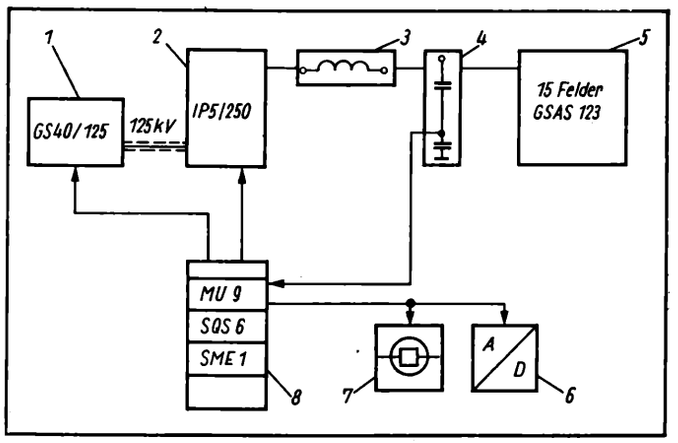
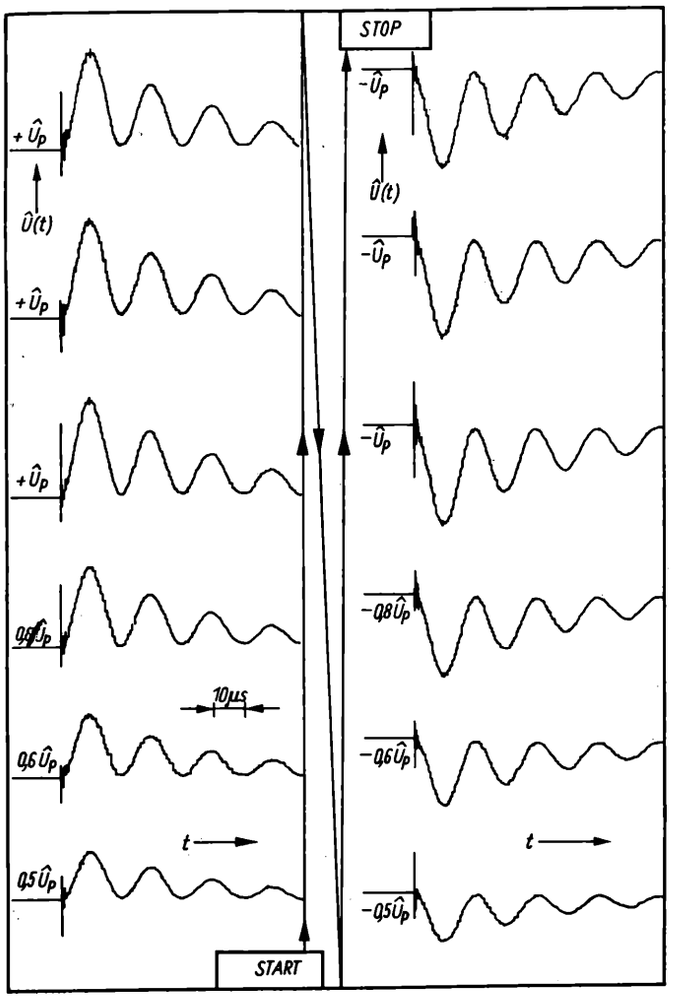


Bild 6. Kompletter Prüfzyklus für eine Schaltung der GSAS 123-Anlage



[1]) Die Autoren danken dem IPH Berlin, insbesondere Dipl.-Ing. *Vogler*, für Durchführung und Auswertung der digitalen Messung.

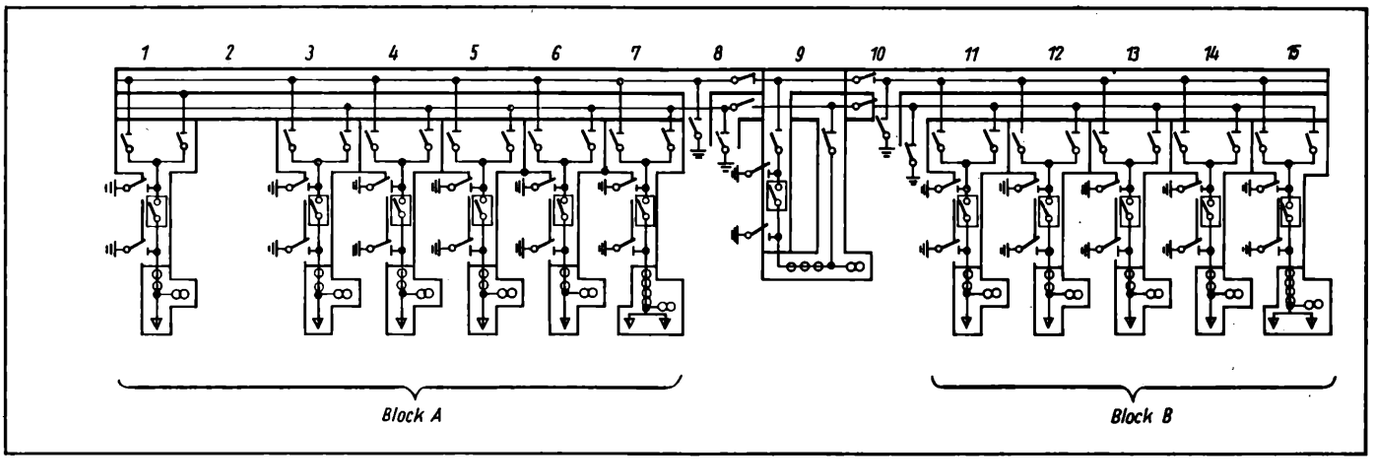


Bild 7. Industrieschaltanlage Daspig

4. Schlußfolgerung

Die Vor-Ort-Wechselspannungsprüfung von GIS (Reihenspannung $\leqq 245$ kV) kann vorteilhaft durch eine OLI-Prüfung zur Erkennung von betriebsgefährdenden ortsfesten Störstellen ergänzt werden. Die OLI-Prüfung ist einfach und zügig durchführbar, das Prüfergebnis ist eindeutig und die erforderlichen Ausrüstungen werden mit der TuR-Impulsspannungsprüfanlagen-Baureihe KM industriell gefertigt.

GIS mit Reihenspannungen > 245 kV werden mit Wechselspannung meist nur konditioniert und mit OSI geprüft. Hier ist die Ergänzung der OSI-Prüfung durch eine OLI-Prüfung unbedingt erforderlich. Teilentladungsmessungen sollten zusätzlich ausgeführt werden, jedoch muß in den meisten Fällen darauf verzichtet werden, das Prüfergebnis danach zu entscheiden.

Literatur

[1] Gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages of 72,5 kV and above (Gasisolierte, metallgekapselte Schaltgeräte mit Nennspannungen von 72,5 kV und höher). IEC Standard, Publication 517, 2. Auflage, 1986

[2] *Boggs, S. A.; Chu, F. Y.; Fujimoto, N.* (Herausgeber): Gasinsulated substations — technology and practice (Gasisolierte Schaltanlagen — Technik und Praxis). Buch über gleichnamige Tagung in Toronto 1985. Toronto: Pergamon Press Canada, Ltd., 1986

[3] *Mosch, W.; Hauschild, W.:* Hochspannungsisolierungen mit Schwefelhexafluorid. Berlin: VEB Verlag Technik 1979

[4] *Hæuschild, W.; Mosch, W.:* High-voltage fielt testing of GIS from the viewpoint of failure mechanism (Hochspannungs-Vor-Ort-Prüfung von GIS aus Sicht des Fehlermechanismus). In [2], S. 183–198

[5] *Zwicky, M.:* Zur Isolierfestigkeit von SF_6 bei Wechselspannung variabler Frequenz (30 bis 200 Hz). Dissertation, ETH Zürich 1986

[6] *Hauschild, W.; Jahn, H.:* Ein Beitrag zum Problem der dielektrischen Prüfungen von SF_6-Isolierungen. XIX. Internat. Wiss. Kolloquium TH Ilmenau (1974), Reihe „Elektrische, mechanische und thermische Beanspruchung", S. 57–63

[7] *Boeck, W.; Kind, D.; Schneider, K.-H,:* Hochspannungsprüfungen von SF_6-Anlagen vor Ort. ETZ-A 94 (1973) 7, S. 406–412

[8] *Diessner, A.; Luxa, G. F.; Mosch, W.; Pigini, A.:* HV testing of SF_6 insulated substations on site (Hochspannungs-Vor-Ort-Prüfungen von SF_6-isolierten Schaltanlagen). Cigre Session 1986, Bericht 33-06

[9] *Feser, K.; Kulik, P.; Menten, L.:* Dielectric field testing of GIS (GIS-Vor-Ort-Prüfung). Cigre-Session 1986, Bericht 33-09

[10] *Schwarz, J.; Petzold, K.; Otto, F.; Neumann, H.:* Messung und Ortung von Teilentladungen an Baugruppen der SF_6-isolierten Schaltanlage GSAS 1-123. ELEKTRIE, Berlin 38 (1984) 2, S. 62–65

[11] *Lemke, E.:* A new procedure for PD measurement on the basis of an electromagnetic field sensor (Eine neue Prozedur zur TE-Messung auf Basis einer elektromagnetischen Feldsonde). 5. ISH, Braunschweig 1987

[12] *Petzold, K.:* Zum Durchschlagverhalten gestörter schwach inhomogener SF_6, Isolierungen aus der Sicht von Hochspannungsprüfungen vor Ort. Dissertation-TU Dresden 1986

[13] High-voltage testing techniques — Draft Publication 60-1 and 60-2 (Hochspannungsprüftechnik — Entwurf der Publikation 60-1 und 60-2). IEC-Entwurf 42 (Secretariat) 46, Januar 1987

[14] *Gockenbach, E.; Meppelink, J.:* Erzeugung schwingender Blitzstoßspannung und deren Anwendung in der Hochspannungstechnik. ETZ-Archiv 5 (1983) 4, S. 135–140

[15] *Feser, K.:* Hochspannungsprüfungen von metallgekapselten, gasisolierten Anlagen vor Ort. Bull. SEV 72 (1981) 1, S. 19–26

[16] *Schrader, W.; Obst, R.; Schmidt, W.:* Neue Blitz- und Schaltspannungs-Prüfgeneratoren für Labor- und Vor-Ort-Prüfung. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 4, S. 199–200

[17] *Bachmann, H.; Köckritz, M.; Vetters, G.:* Eine neue Steuerung für Impulsgeneratoren. ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 6, S. 225–227

EA 5884

Dissertationen

Zu den folgenden Dissertationen liegen der Redaktion Kurzreferate vor; sie werden in einem der nächsten Hefte veröffentlicht.

Müller, O.

Wissenschaftlicher Beitrag zur Entwicklung von Hochspannungsschaltgeräten und -schaltanlagen, vorzugsweise auf Basis SF_6-Technik

Weißenberg, W.

Einfluß makroskopischer Gehlstellen auf die elektrische Alterung von Pölyethylenkabeln bei Wechselspannungsbelastung

Michel, R.

Zum Verständnis der Streuung der Durchschlagspannung und deren Einfluß auf Konditionierung und Prüfung von Gasisolierungen mit schwach inhomogenem Feld

Die Redaktion

Internationale Anerkennung

In der „Bibliography of Data on Elektrical Breakdown in Gases" — herausgegeben vom U. S. Department of Commerce/National Bureau of Standards, Waschington — sind 465 Wissenschaftliche Arbeiten ausgewertet worden. In dieser Anzahl sind 19 Beiträge aus der Fachzeitschrift ELEKTRIE enthalten.

Kriterien für die Selektion der Aufsätze waren

- Archivfähigkeit der Publikation
- Experimentelle Erkenntnisse oder theoretische Daten zum Durchschlag bzw. zur Anfangsspannung
- Bezug auf Gase und Bedingungen, die technisch in Isolierungen verwendet werden können
- Zeitpunkt der Publikation nach 1950.

Die Redaktion

Anodenprozesse in Vakuum-Lichtbögen

R. S. N. Rau; Bangalore (Indien)

Katodenprozesse, vorwiegend zur Katodenfleckbildung, wurden innerhalb der letzten 50 Jahre besonders beachtet. Im Gegensatz dazu wurde den Anodenprozessen wenig Aufmerksamkeit gewidmet, weil man annahm, daß die Anode lediglich die von der Katode ausgehenden Elektronen aufnimmt, um den kontinuierlichen Stromfluß vom Lichtbogen in den äußeren Kreis zu gewährleisten. Nach der Entwicklung des Vakuumschalters und mit der Forderung, immer größere Ströme zu unterbrechen, wurde festgestellt, daß die Anode eine entscheidende Rolle spielt, ob ein Stromkreis erfolgreich ausgeschaltet wird oder nicht.

Die Anodenprozesse bei hohen Strömen werden nachstehend an Hand von experimentellen Untersuchungen diskutiert. Die Versuche wurden am Indian Institute of Science (IISc.) in Bangalore durchgeführt.

Ein elektrischer Lichtbogen im Vakuum (kurz: Vakuum-Lichtbogen) unter definierten Bedingungen brennt stabil mit einer positiven *u-i*-Charakteristik. Von *Reece* wurden die grundsätzlichen Eigenschaften dieser Bögen beschrieben [1]. Die Elektronenquelle für den Stromfluß ist (sind) der (die) Katodenfleck(e). Die Anzahl der Katodenflecke hängt vom Strom ab: 100 A /Katodenfleck. Der Lichtbogen brennt „diffus"[2]). Er bedeckt Katode und Anode gleichförmig, solange der Strom nicht so groß wird, daß sich, wie nachstehend beschrieben, ein Anodenfleck bildet.

1. Anodenfleckbildung

Brennt ein diffuser Lichtbogen („A"-Bogen), beträgt die Lichtbogenspannung für Kupferelektroden etwa 21 V und ist bis zu Strömen von etwa 1 kA nahezu stromunabhängig (Bild 1). Für höhere Ströme steigt die Lichtbogenspannung allmählich auf 40 V an. Für Ströme größer als etwa 6,5 kA steigt sie sehr steil an und erreicht für Ströme von 10 kA etwa 120 V (Werte nach *Mitchell* [2]). Ähnliche Abhängigkeiten der Lichtbogenspannung vom Strom ergeben sich für andere Elektrodenmaterialien. Dieser Übergang des Lichtbogenmechanismus setzt nachweislich bereits bei Strömen von 1 kA ein, wird aber bei 10 kA besonders deutlich. Er ist verbunden mit einer plötzlichen Kontraktion des diffusen Lichtbogens an der Anode[3]). Ein heller Anodenfleck wird deutlich sichtbar. Damit wird der Stromfluß auf eine kleine Fläche auf der Anode konzentriert; die Anode wird an dieser Stelle aufgeheizt, Elektrodenmaterial schmilzt und verdampft. Diese hohe Stromdichte an der Anode verursacht eine (nichtneutralisierte) Elektronen-Raumladung vor der Anode und damit einen erhöhten Anodenfall. Diese negative Elektronen-Raumladung entsteht durch eine nicht ausreichende Anzahl von positiven Ionen (Ionenverarmung: positive ion starvation [2]). Der Metalldampf der Anode wird von Elektronen, die aus der Raumladung die Anode erreichen, ionisiert. Damit wird die Elektronen-Raumladung teilweise neutralisiert. Es können dann wieder mehr Elektronen in das nun ionisierte Metalldampfplasma aufgenommen werden. Der erhöhte Anodenfall führt zu verstärkter Aufheizung und zur Verdampfung von Anodenmaterial. Ein Gleichgewicht stellt sich ein, wenn durch erhöhte Wärmezufuhr in die Anode ausreichend viel Metalldampf entsteht. Dieser Metalldampf wird von den Elektronen so stark ionisiert, daß er die Elektronen-Raumladung so weit neutralisiert, bis der Strom zur Anode getragen werden kann.

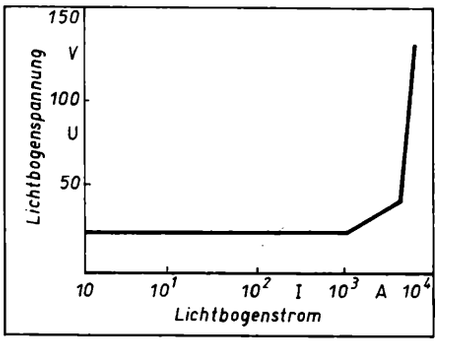
Prof. *R. S. N. Rau*, Ph. D., Indian Institute of Science, Bangalore, Indien

[1]) Der Autor dankt Prof. Dr. sc. techn. *Helmut Böhme*, Technische Universität Dresden, für viele fruchtbare Diskussionen, für freundliche Unterstützung während des Aufenthalts in der DDR und für die redaktionelle Bearbeitung dieses Beitrages. Dank gebührt auch den Regierungen der DDR und Indiens, die im Rahmen des Kulturaustausches DDR — Indien einen Aufenthalt an der Technischen Universität Dresden ermöglichten.

[2]) Im deutschen Schrifttum of mit Typ A bezeichnet.

[3]) Im deutschen Schrifttum als A-B-Übergang bezeichnet.

Bild 1
Strom-Spannungs-Charakteristik von Vakuum-Lichtbögen [2]



Der kritische Lichtbogenstrom i_s (starvation current), bei dem die Lichtbogenspannung schlagartig erhöht wird und sich der Anodenfleck bildet, hängt vom Anodendurchmesser D und vom Elektrodenabstand d ab:

$$i_s = a \frac{D^n}{d} \qquad (1)$$

$n \approx 1, 2,$

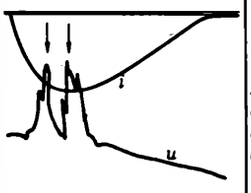
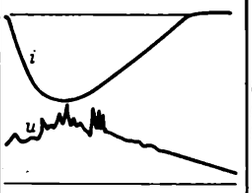
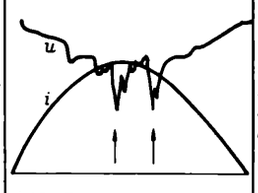
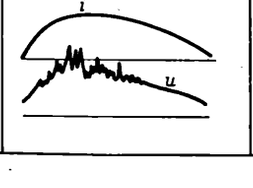
a Konstante.

Dieser Strom i_s ist ein Momentanwert und unabhängig vom Scheitelwert eines Impuls- oder Wechselstromes. Die Höhe des Stromes i_s wird von den physikalischen Eigenschaften des Anodenmaterials bestimmt. In [3] wurde nachgewiesen, daß dieser Wert des Stromes i_s proportional ist der Größe:

$$T_s \sqrt{\lambda \varrho c} \qquad (2)$$

T_s Schmelztemperatur des Anodenmaterials,
λ Wärmeleitfähigkeit des Anodenmaterials,
c spezifische Wärme des Anodenmaterials,
ϱ spezifischer elektrischer Widerstand.

Bild 2. Strom- und Spannungs-Oszillogramme von Vakuum-Lichtbögen mit Anodenfleck-Bildung

	Strom $\hat{i}$ kA	Anode Material	Anode Durchmesser mm	Oszillogramm i Strom u Spannung	Anodenfleck	Autor
1	6,85	Al	25		zweimalige Bildung (↓↑)	Kamakshaiah, Rau [5]
2	8,2	Cu	37		Übergangsgebiet	Kamakshaiah, Rau [5]
3	11,7	Cu	57,2		zweimalige Bildung (↓↑)	Rich, et al. [3]
4	21	Cu	75		ausgebildet	Mitchell [2]

2. Versuchsergebnisse und deren Diskussion

Eine umfassende Übersicht über Versuche und deren Ergebnisse wurde in [4] zusammengestellt. Am Indian Institute of Science wurden von *Kamakshaiah* und dem Autor Experimente zu Anodenprozessen an getriggerten Vakuum-Funkenstrecken mit Strömen bis zu 15 kA durchgeführt [5]. Es wurden Kupfer- und Aluminiumelektroden mit einem Durchmesser von 25 bis 40 mm untersucht.
Die Ergebnisse stimmen mit denen in [2] und [3] überein (Bild 2).
Die Übereinstimmung der Oszillogramme im Bild 2, Zeile 1, (*Kamakshaiah, Rau* [5]) und Zeile 3 (*Rich* u.a. [3]) ist deutlich: Wie in Abschn. 1. diskutiert, wird die Elektronen-Raumladung neutralisiert. Die Lichtbogenspannung fällt ab (erste Spitze im Spannungsoszillogramm, Zeile 1 und 3). Sinkt die Spannung bis auf ursprüngliche Werte, entstehen Bedingungen, um den Prozeß zur Anodenfleckbildung neu zu starten (zweite Spitze im Spannungsoszillogramm, Zeile 1 und 3).
In [6] wurden ausgehend von optoelektronischen Untersuchungen und Filmaufnahmen die Anodenfleckbildung in 3 Zustände aufgelöst:

Zustand 1

Entspricht dem oben diskutierten kontrahierten Vakuum-Bogen mit Anodenfleck.

Zustand 2

Es existiert ein unruhiger Lichtbogen zwischen Elektroden mit einem Abstand 4 bis 8 mm. Er ist durch einen oder mehrere Anodenflecke und einen leuchtenden Lichtbogen ohne scharfe Begrenzung gekennzeichnet.

Zustand 3

Tritt auf, wenn die kritische Stromhöhe bei Elektrodenabständen größer als 8 mm erreicht wird.
Es existieren viele Anodenflecke in schneller Bewegung. Es gibt keine klare Lichtbogensäule und eine diffuse Ladungswolke füllt den Elektrodenzwischenraum. Viele voneinander unabhängige Katodenflecke existieren.

Das Auftreten des einen oder anderen Zustandes hängt vom Elektrodenabstand ab und ist weitgehend stromunabhängig, wenn der Strom höher als ein kritischer Wert ist.

3. Schlußfolgerung für Vakuum-Schalter

Eine Anodenfleckbildung ist im Vakuum-Schalter bei Kurzschlußstromunterbrechung unerwünscht. Sobald Anodenmaterial aufgeschmolzen wird, geht die Lebensdauer des Vakuum-Schalters zurück. Durch intensive Anodenfleckbildung können große Oberflächenaufschmelzungen das Löschvermögen im Nulldurchgang herabsetzen. Es ist zu beachten, daß nach dem Stromnulldurchgang die Anode zur Katode wird (und umgekehrt) und das vom Anodenfleck herrührende, hoch leitfähige Plasma bzw. der Metalldampf die Wiederentzündung begünstigt.
In Vakuumschaltern werden geeignet geformte Elektroden verwendet, um die Anodenfleckbildung und deren Wirkung zu vermeiden [7]. In [8] und [9] wurde untersucht, wie axiale Magnetfelder die Lichtbogenspannung herabsetzen. Dadurch wird die Anodenfleck-Bildung zu höheren Strömen verschoben.

Literatur

[1] *Reece, M. P.:* The Vacuum Switch. Pt. 1, Properties of the vacuum arc; Pt. 2, Extinction of an a.c. vacuum arc. Proc. IEE 110 (1963) 1, S. 793–802; 2, S. 803 bis 811
[2] *Mitchell, G. R.:* High current vacuum arcs, Pt. 1, An experimental study; Pt. 2, Theoretical outline. Proc. IEE 117 (1970) 1, S. 2315–2326; 2, S. 2327–2332
[3] *Rich, J. A.; Prescott, I. E.; Cobine, J. D.:* Anode Phenomena in metal vapour arcs at high currents. J. Appl. Phys. 42 (1971), S. 587–601
[4] *Cobine, J. D.; Lafferty, J. M.* (editor): Vacuum arcs. Theory and Applications. New York: John Wiley and Sons, 1980
[5] *Kamakshaiah, S.; Rau, R. S. N.:* Anode phenomena in triggered vacuum gaps. IEEE Trans. Plas. Sci. PS-5 (1977), S. 1–5
[6] *Kaltenecker, A.; Schussek, M.:* Anode spot formation and motion of vacuum arcs. IEEE Trans. Plasma Sci. PS-13 (1985) 5, S. 269–276
[7] *Flurscheim, C. H.* (editor): Power circuit breaker theory and design. London: Peregrinus Ltd on behalf of IEE, 1975
[8] *Kimblin, C. W.; Voshall, R. E.:* Interruption ability of vacuum interrupter subject to axial magnetic fields. Proc. IEE 119 (1972), S. 1754–1758
[9] *Rondeel, W. G. J.:* The vacuum arc in an axial magnetic field. J. Phys. (D) Appl. Phys. 8 (1975), S. 934–942
[10] *Rau, R. S. N.:* Vacuum arc and development of the triggered vacuum gap. Conf. on SF_6 and vacuum circuit breakers held at Bangalore. Juni 1982, Institution of Engineers (Indien)

EA 5338

Zum Langzeitverhalten von Steckverbindungen der Elektroenergietechnik – Widerstandsverlauf

S. Großmann, KDT; H. Böhme, KDT; H. Löbl, KDT; Dresden

Mitteilung aus dem VEB „Otto Buchwitz" Starkstrom-Anlagenbau Dresden und der Sektion Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden

Verwendete Formelzeichen

a	Faktor, berücksichtigt Alterung allgemein
b	Exponent, berücksichtigt Alterung durch Umgebungseinflüsse
C_K	Faktor, berücksichtigt Kontaktstücktemperatur
C_{KS}	Faktor, berücksichtigt Kontaktstellentemperatur
F_V	Verbindungskraft
I	Gesamtstrom, der durch die Verbindung fließt
I_n	Teilstrom durch den n-ten parallelen Kontaktfinger
m	Exponent, berücksichtigt Kontaktmaterial und Konstruktion
n	Anzahl der parallelen Kontaktfinger
R_V	Gesamtwiderstand der Verbindung
R_n	Teilwiderstand des n-ten parallelen Kontaktfingers
R_0	Anfangswiderstand der Verbindung zum Zeitpunkt $t = 0$
$\dot{R}$	Alterungsgeschwindigkeit des Widerstandes
R_F	Materialwiderstand eines Kontaktfingers (Shunt)
T	absolute Temperatur an der Kontaktstelle
T_0	absolute Temperatur der Umgebung
v	Variationskoeffizient der Normalverteilung
$\Delta\,\vartheta_K$	Kontaktstückübertemperatur
$\Delta\,\vartheta_{KS}$	Kontaktstellenübertemperatur

1. Problematik

Steckverbindungen für Betriebsströme bis 2500 A werden in der Elektroenergietechnik als Montageverbindungen und an Trennstellen in verschiedenen Bauformen eingesetzt. Wichtigstes Beurteilungskriterium ist der elektrische Widerstand R_V, da dieser über die Verlustwärme, Kontaktstellentemperatur und somit über die Alterung der Verbindung entscheidet.
Als Kontaktmaterial wird meist galvanisch versilbertes Kupfer verwendet. Der Einsatz von unversilbertem Kupfer wird diskutiert. Unter dem Einfluß von Sauerstoff, Luftverunreinigungen, Feuchtigkeit und Wärme kommt es abhängig vom Kontaktmaterial und den Betriebsbedingungen zur Fremdschichtbildung, die zum Anwachsen des Widerstandes R_V, vor allem bei hochstrombelasteten Verbindungen führt.
In diesem Beitrag sollen theoretische Vorstellungen und experimentelle Ergebnisse zum Langzeitverhalten des Widerstandes R_V der Verbindung und zur Stromaufteilung auf parallele Kontaktfinger (Bild 1) vorgestellt werden.

2. Modellvorstellungen

2.1. Langzeitverhalten des Widerstandes

Die Alterungsgeschwindigkeit $\dot{R}$ einer Strombahnverbindung ist abhängig vom Widerstand R selbst, von allen im Faktor a zusammengefaßten temperaturbeeinflussenden Parametern der Zeit t und dem Exponenten m, der die Barrierenwirkung der wachsenden Fremdschicht an der Engestelle berücksichtigt [1]:

$$\dot{R} = R \cdot a \cdot t^{-m}. \qquad (1)$$

Dipl.-Ing. *Steffen Großmann* ist Forschungsingenieur im VEB „Otto Buchwitz" Starkstrom-Anlagenbau Dresden.
Prof. Dr. sc. techn. *Helmut Böhme* ist ordentlicher Professor, Dr. sc. techn. *Helmut Löbl* ist wissenschaftlicher Oberassistent an der Technischen Universität Dresden, Sektion Elektrotechnik.

Die Arbeit entstand im Rahmen eines Forschungsvertrages des VEB „Otto Buchwitz" Starkstrom-Anlagenbau Dresden, Betrieb des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau, mit der Technischen Universität Dresden, Sektion Elektrotechnik.

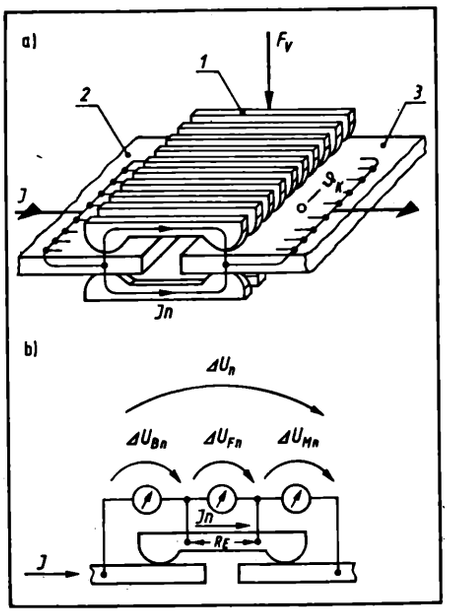


Bild 1. Schema Experiment zur Untersuchung der Stromaufteilung auf parallele Kontaktfinger
a) Prinzipanordnung
1 Kontaktfinger (20 mal)
2 Kontaktblock
3 Kontaktmesser
b) Meßanordnung
Teilstrom im n-ten Kontaktfinger

$$I_n = I \frac{\Delta U_{Fn}}{\sum_1^n \Delta U_{Fn}} = \Delta U_{Fn} R_F$$

Kontaktwiderstände am n-ten Kontaktfinger

$R_{Bn} = I_n \Delta U_{Bn}$
$R_{Mn} = I_n \Delta U_{Mn}$
$R_n = R_{Bn} + R_F + R_{Mn}$

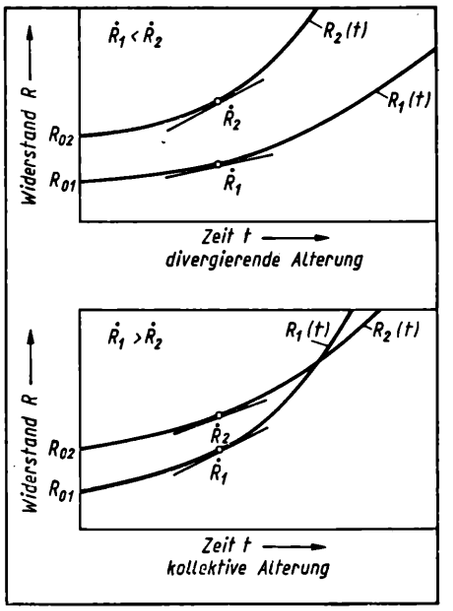


Bild 4. Widerstands-Zeit-Verhalten zweier paralleler Kontaktfinger ▶

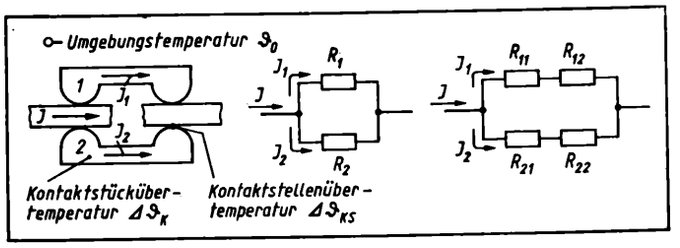


Bild 2. Zur Alterung paralleler Kontakte
a) Prinzipanordnung, b) vereinfachtes Ersatzschaltbild, c) erweitertes Ersatzschaltbild

Der Faktor a kann entsprechend dem Arrhenius-Gesetz für chemische Vorgänge durch

$$a = \exp(-b/T) \tag{2}$$

substituiert werden. T ist die absolute Temperatur an der wahren Kontaktstelle und b ein von der Umwelt bestimmter Parameter. Mit der Lösung der Differentialgleichung (1) für konstante Temperaturen T

$$R = R_0 \{\exp(\exp(-b/T))\, t^{1-m}/(1-m)\} \tag{3}$$

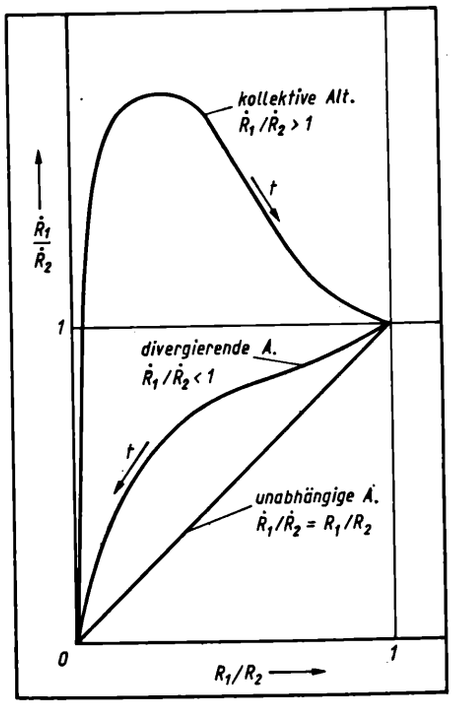


Bild 3
Verhältnis der Alterungsgeschwindigkeiten abhängig vom Widerstandsverhältnis — Arten der Alterung

kann nach Ermittlung der Parameter b und m aus Langzeitexperimenten ($t > 2000$ h) mit Verbindungen verschiedener Konstruktion, Strombelastung und bei unterschiedlichen Umwelteinflüssen, aber etwa konstanter Temperatur T der Widerstands-Zeit-Verlauf für größere, über den Untersuchungszeitraum hinausgehende Zeiten und veränderte Belastung abgeschätzt werden [1].

2.2. Langzeitverhalten paralleler Kontakte und Stromaufteilung

In Steckverbindungen für höhere Belastungsströme sind meist mehrere Kontaktfinger bzw. Elemente parallelgeschaltet. Um die Zuverlässigkeit solcher Verbindungen beurteilen und durch konstruktive Veränderungen erhöhen zu können, ist es erforderlich, das Langzeitverhalten der Stromaufteilung auf die parallelen Kontaktstellen zu untersuchen. Sind die einzelnen Widerstände der Kontaktstellen unterschiedlich groß, so teilt sich der Strom ungleichmäßig auf. Die Kontaktstellen werden thermisch unterschiedlich beansprucht und altern damit auch ungleichmäßig.
Im einfachsten Fall seien zwei Kontaktstücke parallel, die sich stark vereinfacht als Parallelschaltung zweier Widerstände R_1 und R_2 darstellen lassen (Bilder 2a und 2b). Es sei $R_1 \leqq R_2$. Die Größen b (Umgebungseinfluß) und m (Kontaktmaterial, Konstruktion) in Gl. (3) sind für R_1 und R_2 gleich groß, während die Kontaktstellentemperatur von der Stromaufteilung abhängt:

$$T_{1/2} = T_0 + \Delta\vartheta_K + \Delta\vartheta_{KS\,1/2}. \tag{4}$$

Setzt man die Alterungsgeschwindigkeiten $\dot{R}_1$ und $\dot{R}_2$ ins Verhältnis, so lassen sich zwei Arten der Alterung unterscheiden

$$\frac{\dot{R}_1}{\dot{R}_2} = \frac{R_1}{R_2} \times \frac{\exp\{-b/(T_0 + C_K(R_1R_2/(R_1+R_2)) + C_{KS}(R_1R_2^2/(R_1+R_2)^2)\}}{\exp\{-b/(T_0 + C_K(R_1R_2/(R_1+R_2)) + C_{KS}(R_1R_1^2/(R_1+R_2)^2)\}}. \tag{5}$$

1. Kollektive Alterung (Bilder 3 und 4)

Ist bei einem Widerstandsverhältnis $R_1/R_2 < 1$ das Verhältnis der Alterungsgeschwindigkeiten $\dot{R}_1/\dot{R}_2 > 1$, so wird die Alterung hauptsächlich von der Kontaktstellentemperatur bestimmt. Der Einfluß der Umgebungsbedingungen (Schadstoffe in der Luft, Luftfeuchte) sind von untergeordneter Bedeutung. Der kleinere Widerstand R_1 führt den höheren Strom. Damit werden die Kontaktstellen des Kontaktfingers *1* wärmer und altern schneller, solange, bis der andere Finger mit dem inzwischen kleinerem Widerstand den Strom übernimmt. Die Finger wechseln sich also „kollektiv" im Stromtragen ab. Da diese Form der Alterung paralleler Kontakte in den Experimenten (Abschnitt 3 und 4) zutreffend ist, soll die kollektive Alterung nachfolgend noch näher untersucht werden.

2. Divergierende Alterung (Bilder 3 und 4)

Ist im Gegensatz zu 1. bei einem Widerstandsverhältnis $R_1/R_2 < 1$ das Verhältnis der Alterungsgeschwindigkeiten $\dot{R}_1/\dot{R}_2 < 1$, so altern die Kontaktstücke aufgrund einer hohen Belastung durch die Um-

gebungsbedingungen entsprechend ihrem Widerstandsverhältnis R_1/R_2 so schnell, daß trotz einer erhöhten Kontaktstellentemperatur diese für die Alterung nicht maßgebend ist. Der mit einem hohen Anfangswert R_{02} gestartete Widerstand R_2 altert also immer schneller als der höher strombelastete, kleinere Widerstand R_1.

Ein Sonderfall der divergierenden Alterung ist die unabhängige Alterung (Bild 3), bei der $\dot{R}_1/\dot{R}_2 = R_1/R_2$ ist. Die parallelen Kontakte führen jeweils ihr „Eigenleben".

Um zu beurteilen, in welchem Maße sich innerhalb der kollektiven Alterung die Teilwiderstände verändern können, wird das vereinfachte Ersatzschaltbild auf vier Widerstände erweitert, die je eine Kontaktstelle verkörpern (Bild 2c). Die Temperatur einer Kontaktstelle, z.B. T_{11}, errechnet sich unter Berücksichtigung der ungleichen Stromaufteilung zu

$$T_{11} = T_0 + \underbrace{C_K \frac{(R_{11}+R_{12})(R_{21}+R_{22})^2}{(R_{11}+R_{12}+R_{21}+R_{22})^2}}_{\text{Übertemperatur des Kontaktstücks 1}} + \underbrace{C_{KS} \frac{R_{11}(R_{21}+R_{22})^2}{(R_{11}+R_{12}+R_{21}+R_{22})^2}}_{\text{Übertemperatur der Kontaktstelle 11}} \quad (6)$$

Sind alle vier Widerstände gleich groß, so fließt in beiden Zweigen der gleiche Strom und alle vier Teilwiderstände altern gleich schnell. Ist dagegen einer der Teilwiderstände, z.B. R_{11} zufällig größer als die anderen Teilwiderstände $R_{11} > R_{12} = R_{21} = R_{22} = R^*$, so ist die Änderung der Kontaktstellentemperatur T_{11} mit dem Anwachsen des Widerstandes R_{11} ($dT_{11}/dR_{11} \gtrless 0$) — abhängig vom Verhältnis Kontaktstellen- zu Kontaktstückübertemperatur ($C_K \gtrless C_{KS}$) — zu betrachten (Bild 5). Dieses Verhältnis entscheidet darüber, ob sich die Teilwiderstände nur geringfügig voneinander unterscheiden, oder ob der Unterschied während des Alterns besonders groß werden kann. Durch Differentiation von Gl. (6) kann der Widerstand R_{11} bestimmt werden, bei dem die Kontaktstellentemperatur ihr Maximum erreicht ($dT_{11}/dR_{11} = 0$). Es existiert also ein Verhältnis R_{11}/R^*, welches bei der kollektiven Alterung das Anwachsen der Kontaktstellentemperatur begrenzt.

$$R_{11} = R^* \cdot \frac{C_K + 3C_{KS}}{C_K + C_{KS}}, \text{ wobei} \quad (7)$$

$$R^* = R_{12} = R_{21} = R_{22}.$$

Ist die Kontaktstellenübertemperatur wesentlich größer als die Kontaktstückübertemperatur (d.h. $C_K \ll C_{KS}$), so erreicht die Kontaktstellentemperatur T_{11} nach Gl. (7) bei $R_{11} = 3 \cdot R^*$ ihr Maximum (Bild 5). Danach altert die Kontaktstelle *11* langsamer, während die Kontaktstellen des parallelen, höherbelasteten Kontaktfingers schneller altern.

Ist dagegen die Kontaktstellenübertemperatur sehr viel kleiner als die Übertemperatur der Kontaktstücke ($C_K \gg C_{KS}$), so befindet sich das Maximum der Kontaktstellentemperatur T_{11} bei Widerstandsgleichheit $R_{11} = R^*$. Das heißt in diesem Falle geht der mit $R_{11} > R^*$ niedriger strombelastete Parallelzweig *1* solange in „Wartestellung", bis der wegen der ungleichen Stromaufteilung höher belastete Parallelzweig *2* mit der damit höheren Kontaktstücktemperatur soweit gealtert ist, daß die Widerstände beider Kontaktfinger gleich sind.

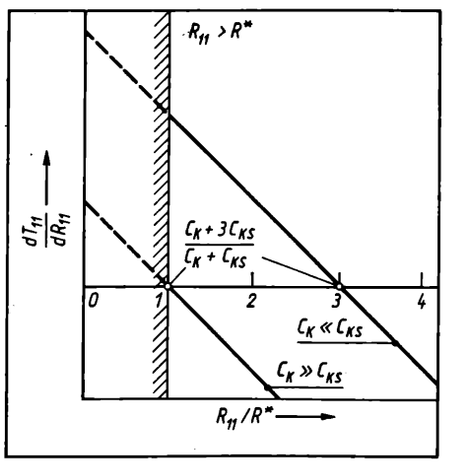
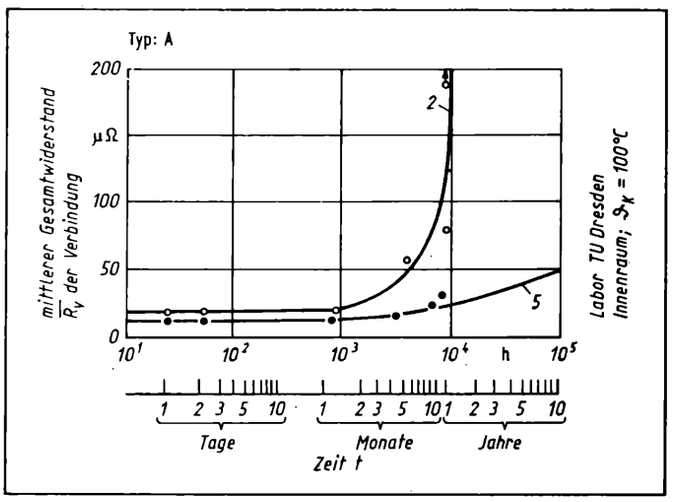


Bild 5
Änderung der Kontaktstellentemperatur T_{11} bei alternder Kontaktstelle $R_{11} > R^*$



Kurve	Symbol	Stellung	Kontaktmaterial, Oberflächenbehandlung
2	—○—	geschlossen	Kupfer unversilbert, gefettet
5	—•—	geschlossen	Kupfer galvanisch versilbert, gefettet

mittlerer Gesamtwiderstand $\overline{R_V}$ der Verbindung
Typ A abhängig von der Zeit bei
Lastwechseln 20 °C ≦ ϑ_K ≦ 100 °C

Bild 6

Damit wird deutlich, daß das Verhältnis von Kontaktstellen- zu Kontaktstückübertemperatur, als Maß für die Güte der Verbindung, darüber entscheidet, ob bei kollektiv alternden parallelen Kontakten sich die Teilwiderstände nur geringfügig voneinander unterscheiden, oder ob sich im Falle hoher Kontaktstellenübertemperatur die Teilwiderstände um ein mehrfaches voneinander unterscheiden. Die somit große Streuung der Teilwiderstände führt zu einer

Tafel 1. Langzeitverhalten des Widerstandes R_V der Verbindung und Stromaufteilung auf die parallelen Kontaktfinger

Konstruktion:	Typ A	Typ B	Typ C
Anzahl der Prüflinge:	je 1	je 6	je 15
Anzahl der Kontaktfinger:	20	8	1
Kraft je Kontaktfinger:	135 N	120 N	500 N
Kontaktmaterial:	Cu versilbert, gefettet	Cu versilbert, gefettet	
	Cu unversilbert, gefettet	Cu unversilbert, gefettet	Cu unversilbert, gefettet
		Cu unversilbert, blank	Cu unversilbert, blank
Strombelastung:	Lastwechsel mit Strom so, daß Kontaktstücktemperatur zwischen 20 °C und 100 °C wechselt[1])	stromlos, geschlossen und offen gelagert	stromlos, geschlossen und offen gelagert
Umgebungsbedingungen:	Labor TU Dresden	— elektrotechnischer Betriebsraum eines Braunkohlenheizkraftwerkes, Innenraum — 0,75 mg/m³ SO_2-Luft-Gemisch, Außenraum, relative Feuchte $f_r \geq 85\,\%$	
Meßgröße:	Widerstand der Verbindung und Stromaufteilung auf die parallelen Kontaktfinger	Widerstand der Verbindung	Widerstand der Verbindung
Auslagerungsdauer:	etwa 1 Jahr	etwa 3 1/2 Jahre	etwa 3 Jahre

[1]) nach IEC 694 (1980) — Hochspannungsschaltgeräte; zulässige Kontaktstücktemperatur: versilberte Kontaktstücke 105 °C, unversilberte Kontaktstücke 75 °C

stark unterschiedlichen Stromaufteilung. Dabei bleibt jedoch die Verbindung wegen der sich selbst begrenzenden Zunahme der Kontaktstellenübertemperatur in einem „stabil" alternden Zustand.

3. Experimente

Das Langzeitverhalten des Widerstandes R_V der Verbindung und die Stromaufteilung auf die parallelen Kontaktfinger wurden an drei verschiedenen Typen von Steckverbindungen unter folgenden Bedingungen untersucht: siehe Tafel 1.

Bei den Verbindern Typ A wurde der Wirkwideratsnd nach dem Strom-Spannungs-Verfahren (Wechselstrombelastung) mit einem Vektormesser ermittelt. Um die Stromaufteilung auf die parallelen Kontaktfinger bestimmen zu können, wurden diese so präpariert, daß über einem Teil der Kontaktfinger mit bekanntem Widerstand (Shunt) der Spannungsfall gemessen und daraus der Teilstrom errechnet wurde (Bild 1). So wurden auch die einzelnen Teilwiderstände R_n der Kontaktfinger ermittelt. Die Widerstände der stromlos ausgelagerten Proben Typ B und C wurden mit dem Widerstandsbewertungsgerät [2] gemessen.

4. Meßergebnisse

4.1. Langzeitverhalten des Widerstandes R_V der Verbindung

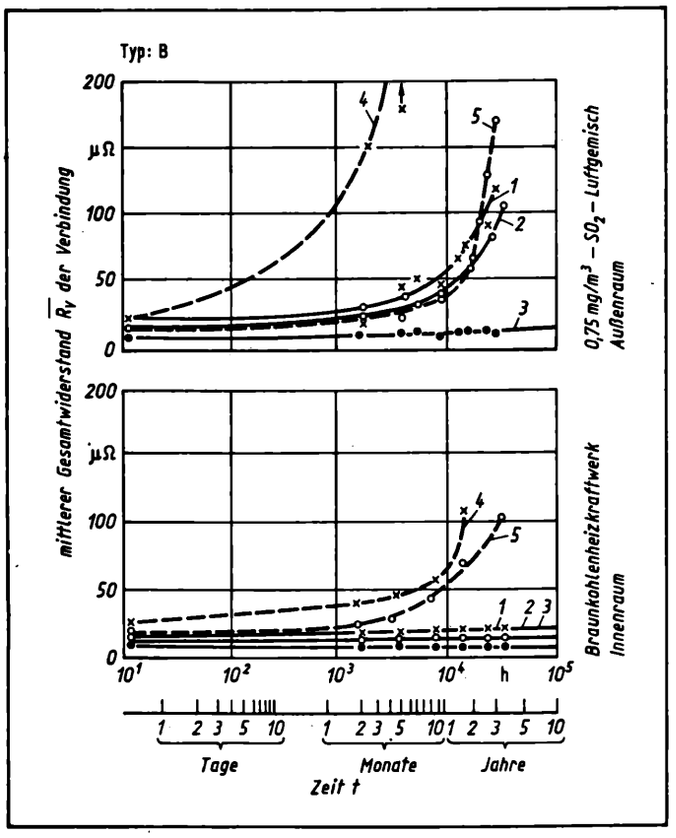
Aus den Messungen ergibt sich:

— geschlossene Steckverbindungen bei Lastwechseln ($20\,°C \leqq \vartheta_K \leqq 100\,°C$) — Typ A:
Unter Laboratmosphäre ändert sich der Widerstand R_V bei versilberten Kontaktstücken innerhalb eines Jahres nicht signifikant (Bild 6). Eine Extrapolation mit Gl. (3) läßt für die nächsten 10 bis 20 Jahre nur einen geringfügigen Anstieg erwarten. Die Verbindung mit den unversilberten Kupferkontaktstücken weist bereits nach wenigen Monaten den 10fachen Anfangswiderstand auf. Entscheidend für die Alterung der Verbindung ist in diesem Experiment die thermische Belastung der Kontaktstellen (siehe Gl. (3)).

— geschlossene Steckverbindungen stromlos, $F_V = 120$ N — Typ B (Bild 7):
In SO_2-Außenraum-Umgebung steigt der Widerstand der unversilberten Kupfer-Verbindung durch den Umgebungseinfluß rasch an. Ein Vaseline-Überzug verhindert nur im ersten Jahr eine schnelle Alterung.
Die im Innenraum des Kraftwerkes stromlos untersuchten Steckverbinder aus unversilbertem Kupfer und Kupfer versilbert ändern innerhalb der 3 1/2-jährigen Beobachtungszeit ihren mittleren Widerstand nicht signifikant. Die Streuung des Widerstandes, gemessen an den sechs Prüflingen, ist aber für Verbindungen mit unversilberten Kupferkontaktstücken (Cu) viel größer als für solche mit galvanisch versilberten Kontaktstücken (Ag): Variationskoeffizienten der normalverteilten Kontaktwiderstände $v_{Cu} \approx 0{,}2$; $v_{Ag} \approx 0{,}05$.

— offen gelagerte Kontaktstücke, $F_V = 120$ N — Typ B (Bild 7):
Der Widerstand R_V der unversilberten Kupferkontaktstücke steigt rasch an. Beim Zusammenstecken wird wegen der mit zunehmender Auslagerungszeit geringer werdenden Reibung [3] die Fremdschicht nicht ausreichend zerstört. Vaseline-Schichten verzögern die Alterung, verhindern sie jedoch nicht.

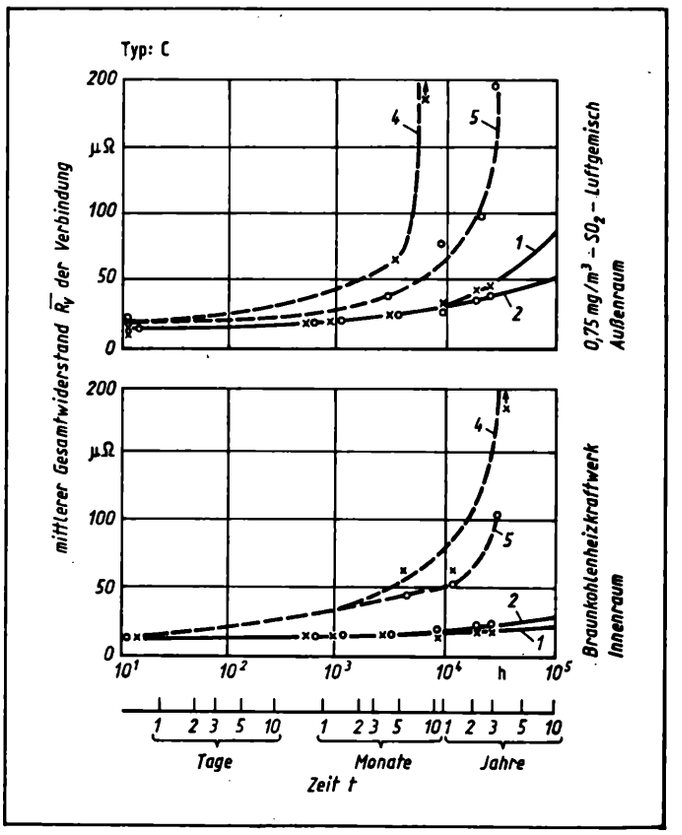
Bild 7. Mittlerer Gesamtwiderstand $\overline{R_V}$ der Verbindung Typ B abhängig von der Zeit t, stromlos gelagert



Kurve	Symbol	Stellung	Kontaktmaterial, Oberflächenbehandlung
1	—x—	geschlossen	Kupfer unversilbert
2	—o—	geschlossen	Kupfer unversilbert, gefettet
3	—•—	geschlossen	Kupfer galvanisch versilbert, gefettet
4	--x--	offen	Kupfer unversilbert
5	--o--	offen	Kupfer unversilbert, gefettet

mittlerer Gesamtwiderstand $\overline{R_V}$ der Verbindung Typ B abhängig von der Zeit t, stromlos gelagert

Bild 8. Mittlerer Gesamtwiderstand R_V der Verbindung Typ C abhängig von der Zeit t, stromlos gelagert



Kurve	Symbol	Stellung	Kontaktmaterial, Oberflächenbehandlung
1	—x—	geschlossen	Kupfer unversilbert
2	—o—	geschlossen	Kupfer unversilbert, gefettet
4	--x--	offen	Kupfer unversilbert
5	--o--	offen	Kupfer unversilbert, gefettet

mittlerer Gesamtwiderstand $\overline{R_V}$ der Verbindung Typ C abhängig von der Zeit t, stromlos gelagert

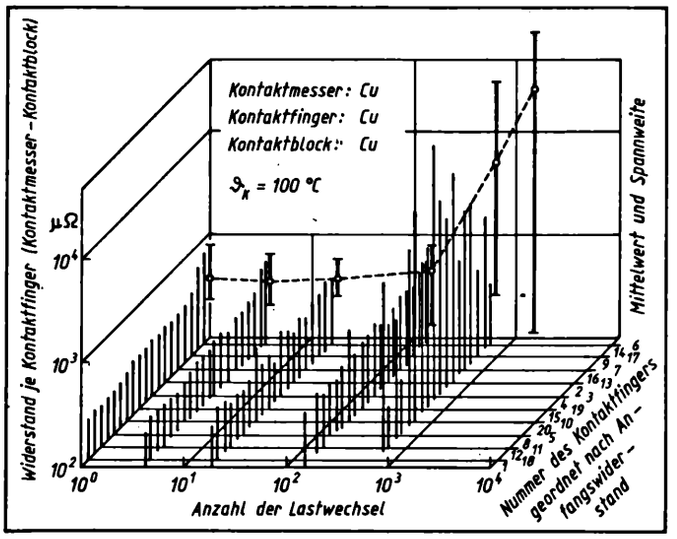


Bild 9. Widerstand R_n je Kontaktfinger abhängig von der Anzahl der Lastwechsel

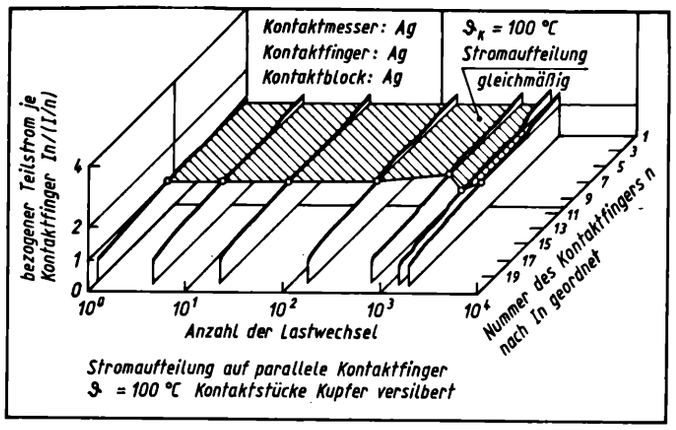


Bild 10. Stromaufteilung I_n auf $n = 20$ parallele Kontaktfinger abhängig von der Anzahl der Lastwechsel; Kontaktstücke Kupfer versilbert, gefettet

— geschlossene Verbindung stromlos, $F_V = 500$ N — Typ C (Bild 8); Die größere Kraft F_V, mit der die unversilberten Kontaktstücke der Verbindung zusammengepreßt werden, schafft größere scheinbare Kontaktflächen, in welche die Fremdschicht schwerer einwachsen kann. Der Widerstand nimmt langsamer zu als bei der Verbindung Typ B mit $F_V = 120$ N, wird jedoch — abgeschätzt mit Gl. (3) — nach 10 Jahren auch den 3fachen Wert (gefettet) bzw. 5fachen Wert (ohne Fett) des Anfangswiderstandes annehmen und erreicht somit auch nicht die Güte von versilberten Kontaktstücken unter gleichen Umgebungsbedingungen. Im Kraftwerks-Innenraum kann bei der geringen Alterungsgeschwindigkeit kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Verbindungskräften $F_V = 120$ N und 500 N angegeben werden.

— offen gelagerte Kontaktstücke, $F_V = 500$ N — Typ C (Bild 8): In beiden Atmosphären, in denen die Proben ausgelagert sind, kann sich eine Fremdschicht auf der Kontaktstückoberfläche ausbilden, die auch bei den gegenüber Typ B größeren Kontaktkräften nicht ausreichend zerstört wird. Die Widerstands-Zeit-Verläufe von $F_V = 120$ N und 500 N sind vergleichbar.

4.2. Aufteilung des Stromes auf parallele Kontaktstücke

Am Verbinder Typ A mit $n = 20$ parallelen Kontaktfingern wurden experimentell die Teilwiderstände R_n jedes Kontaktfingers und die Stromaufteilung I_n ermittelt.

Die Teilwiderstände der parallelen Kontaktfinger (Bild 9) altern kollektiv (vgl. Bild 3). Der Einfluß der Kontaktstellentemperatur dominiert. Bei versilberten Kontaktstücken ist die Kontaktstellenübertemperatur wesentlich kleiner als die Kontaktstückübertemperatur und die Teilwiderstände altern nahezu gleichmäßig, (Fall $C_K \gg C_{KS}$ in Bild 5). Der Strom teilt sich dabei weitestgehend gleichmäßig auf die versilberten Kontaktstücke auf (Bild 10). Jedoch bei unversilberten Kupferkontaktstücken vergrößern sich mit zunehmendem mittlerem Teilwiderstand die Schwankungen der einzelnen Teilwiderstände mit der Zeit (Fall $C_K \ll C_{KS}$ in Bild 5). Dabei begrenzt sich der Anstieg der Teilwiderstände jeweils immer wieder von selbst (vgl. Abschn. 2.2.), so daß die einzelnen Widerstandsmaxima und -minima einander abwechseln (Bild 9). Bei unversilberten Kupferkontaktstücken (Bild 11) übernehmen mit zunehmender Anzahl von Lastwechseln einzelne Finger, die sich dabei gegenseitig abwechseln, den größten Anteil des Stromes und altern somit wegen der erhöhten Kontaktstellentemperatur schneller.

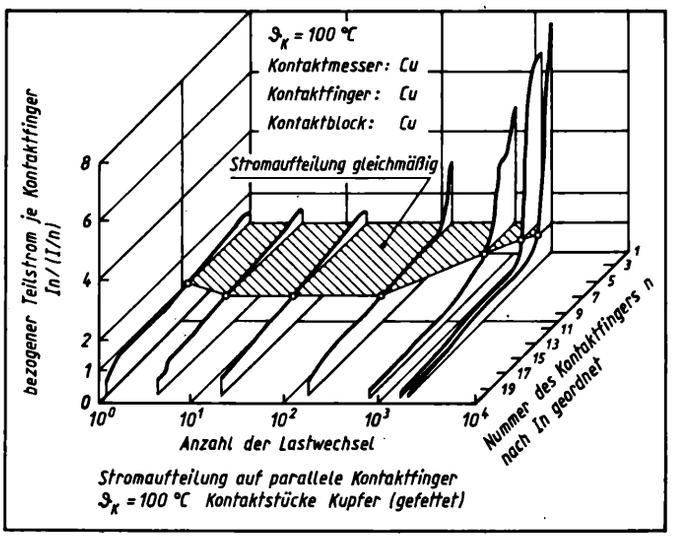


Bild 11. Stromaufteilung I_n auf $n = 20$ parallel Kontaktfinger abhängig von der Anzahl der Lastwechsel; Kontaktstücke Kupfer unversilbert, gefettet

5. Diskussion der Ergebnisse und Schlußfolgerungen

Die thermische Alterung von Verbindungen, insbesondere durch Stromwärmeverluste, und die Alterung durch Umwelteinflüsse führen wegen der Fremdschichtbildung auf den Kontaktstückoberflächen zum Ansteigen des Verbindungswiderstandes mit der Zeit. Um das Langzeitverhalten des Verbindungswiderstandes R_V abhängig von Konstruktion, Betriebs- und Umgebungsbedingungen einschätzen zu können, sind Langzeituntersuchungen erforderlich. Standardisierte Prüfvorschriften [4] [5] stellen hinsichtlich der Prüfdauer Mindestanforderungen dar, die den zeitlich beschränkten Möglichkeiten für Entwicklungs- und Typenprüfungen entsprechen. Dabei wird die Prüfung gerade dann beendet, wenn sich die meisten Prüflinge im Gebiet der „relativen Ruhe" befinden. Der Zeitraum der „beschleunigten Alterung", in dem der Widerstand überproportional wächst und die Verbindung schließlich ausfällt, wird hier nur bei Verbindungen mit extrem rascher Alterung erfaßt. Erst in längerdauernden Experimenten können mit Hilfe theoretischer Überlegungen Prognosen über die Lebensdauer gestellt werden.

Steckverbindungen der Elektroenergietechnik mit Kontaktstücken aus galvanisch versilbertem Kupfer ändern unter den genannten Bedingungen ihren Widerstand über Jahre nicht signifikant. Der Widerstand von Verbindungen mit unversilberten Kupferkontaktstücken steigt abhängig von den Betriebs- und Umgebungsbedingungen wesentlich schneller als bei versilberten Kontaktstücken. Vaseline-Überzüge und erhöhte Verbindungskräfte verzögern die Alterung, verhindern sie jedoch nicht so stark, daß sie für die Praxis interessant werden. Unversilbertes Kupfer ist deshalb für langlebige Steckverbindungen als Kontaktmaterial nicht geeignet. Sind in einer Steckverbindung mehrere Kontaktfinger parallelgeschaltet, so teilt sich der Strom entsprechend der Teilwiderstände auf. Dominiert bei der Alterung der Kontaktstellen der Einfluß der Kontaktstellentemperatur gegenüber dem Einfluß der Umgebung, so altern die Teilwiderstände kollektiv. Die im Vergleich zur Kontaktstücktemperatur niedrige Übertemperatur an den Kontaktstellen versilberter Kontaktstücke führt zu einer weitestgehend gleichmäßigen Alterung der Teilwiderstände, und somit teilt sich der Strom nahezu gleich auf. Bei unversilberten Kupferkontaktstücken bedingt die höhere Kontaktstellenübertemperatur ein kollektives Altern mit zunehmender Streuung der Teilwiderstände, die sich jedoch immer wieder gegenseitig beim Stromführen be- und entlasten. Die zunehmend ungleiche Stromaufteilung führt zu einer schnelleren, dabei aber stabilen Alterung der Verbindung.

Literatur

[1] *Böhme, H.; Löbl, H.:* Zur Theorie des Langzeitverhaltens von Aluminium-Schraubverbindungen. ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 5, S. 179–183

[2] *Scholz, H.:* Ein Gerät zum einfachen Bewerten von Strombahnverbindungen. X. Wissenschaftliche Konferenz der TU Dresden 1984. Tagungsband H, S. 92–93

TAGUNGSBERICHTE

5. Internationales Symposium Hochspannungstechnik (ISH) Braunschweig 1987

Das 5. Internationale Symposium Hochspannungstechnik (ISH) fand vom 24. bis 28. August 1987 in der Stadthalle Braunschweig statt. Vorbereitung und Organisation lagen in der Regie der Technischen Universität Braunschweig unter der Leitung von Prof. Dr. *H. Kärner*. Sponsoren dieser Veranstaltung waren die Ingenieurorganisationen VDE und IEEE in Kooperation mit der CIGRE.

In Abstimmung mit den Studienkomitees (SC) und Arbeitsgruppen (WG) der CIGRE, deren Arbeiten vor allem erzeugnisorientiert sind, befaßt sich das ISH mit neuesten Ergebnissen der Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Hochspannungstechnik, wobei neben den physikalischen Prozessen in Dielektrika (gasförmig, flüssig, fest) auch Trends der modernen Prüf- und Meßtechnik behandelt wurden. Die auf dem 5. ISH vorgestellten Beiträge repräsentierten den derzeitig erzielten Stand zum Fachgebiet im Weltmaßstab.

Vom wissenschaftlichen Vorbereitungskomitee wurden insgesamt 401 eingereichte Beiträge aus 34 Ländern angenommen. Das Gastgeberland war naturgemäß am stärksten vertreten (über 65 Beiträge), danach folgten Japan und die VR China mit jeweils über 40 Beiträgen. Die DDR war mit 9 Beiträgen vertreten.

Aufgrund des großen Beitragsangebotes erfolgte eine Zweiteilung, d.h. neben der Plenarveranstaltung wurde eine Poster-Session durchgeführt, auf der über 50 % der Beiträge präsentiert wurden. Die erstmalig im Rahmen des ISH veranstaltete Poster-Session wurde von den Tagungsteilnehmern als sehr informativ eingeschätzt. Parallel zum Symposium fand eine Fachausstellung im Foyer der Stadthalle statt, an der sich Hersteller der Hochspannungs-Prüf- und Meßtechnik beteiligten. Vertreten waren:

— Meßwandlerbau Bamberg (BRD)
— Haefely Test System (Schweiz)
— Tettex A. G. (Schweiz)
— Burster Präzisionselektronik (BRD)
— VEB TuR Dresden (DDR).

Dadurch bestand die Möglichkeit eines zusätzlichen technischen Informationsgewinns in den Konferenzpausen, wodurch auch das Niveau des Symposiums wesentlich gefördert wurde. Ergänzend wurden vom Veranstalter noch technische Exkursionen angeboten.

Am 5. ISH beteiligten sich über 500 Experten aus 34 Ländern. Damit verdoppelte sich die Teilnehmerzahl im Vergleich zum 4. ISH (Athen), was auf die zunehmende Attraktivität dieser bedeutendsten Konferenz der Hochspannungstechnik schließen läßt. Nachfolgend wird ein zusammenfassender Überblick über die in 9 Sektionen behandelte Thematik gegeben, die schwerpunktmäßig in zahlreiche Gruppen aufgegliedert war:

Sektion 1: Gasförmige Dielektrika und gasisolierte Systeme

Gruppen 11 und 14: Luftisolierungen (Chairman *Zingales*/Italien)
— Einfluß von Umgebungsbedingungen auf die Durchschlagspannung im Hinblick auf die Revision der Korrekturfaktoren der IEC-Publ. 60 (Beiträge 11.01/02/03/04/05 und 14.01/02/03/04)
— Durchschlagverhalten von Phase-Phase-Isolierungen und Möglichkeiten der Vorausberechnung von Durchschlagspannungen bei Mischspannungen (11.09 und 14.10/11/18)
— Durchschlagphänomene in Mehrelektrodenanordnungen mit Zwischenelektroden auf freiem Potential im Hinblick auf Bemessungskriterien für Arbeiten auf Freileitungen unter Spannung (11.11/12/13 und 14.20)
— Einfluß der Luftfeuchte auf die Überschlagspannung von Isolatoren (14.07/23)
— Vorausberechnung der Durchschlagspannung auf der Grundlage von Durchschlagmodellen (11.06/14 und 14.05/06/08/24)
— Entladungsphysikalische Prozesse, insbesondere bei fast transienten Spannungen und Abschätzung von Durchschlagzeiten (11.08/10 und 14.12/13/14/15/16/17/19/21/22/25/26)
— Messung hoher Gleichspannung mit Stab-Funkenstrecken (11.07)
— Entstehung transienter Überspannungen bei Blitzeinschlägen, experimentelle Untersuchungen an Originalmasten von 500-kV-Freileitungen (11.09).

Gruppen 12, 13 und 15: SF_6-Isolierungen (*Qiu*/VR China und *Zaengl*/Schweiz)
— Entstehung und Ausbreitung fast transienter Spannungen, theoretische und meßtechnische Untersuchungen (12.01/02/04/05/06 und 15.01)
— Vor-Ort-Prüftechnik sowie Messung von Teilentladungen und akustische TE-Fehlerortung (12.07/08/09 und 13.06/07 sowie 15.07)
— Partikelgezündeter Durchschlag, insbesondere Einfluß von Partikeln an Abstandshaltern (12.03/08/10/11 und 15.02/03/04/20)
— Aufladung und Überschlag von Grenzflächen in SF_6 unter Beachtung von Oberflächenpotentialen. Einfluß von Zersetzungsprodukten (12.10 und 13.01/02/03/04/05 sowie 15.03/08/09/10/11/12/13)
— Grundlagenuntersuchungen zu Gasgemischen (13.08/09/10 und 15.05/06/14/15/16/17/18/19).

Sektion 2: Feste und flüssige Isolierstoffe

Gruppe 21: PE Isolierungen (*Mayoux*/Frankreich)
— Entstehungs- und Ausbreitungsmechanismen von Water-trees sowie experimentelle Methoden zu deren Nachweis, Erhöhung der Watertrees-Resistenz (21.01/02/03/04/05/06/08)
— Tree-Bildung und nichtlineare Effekte in Dielektrika bei Infrafrequenzen sowie Raumladungswirkungen (21.09/10/11)

Gruppe 22 und 23: Festkörper, Mischdielektrika, Isolierflüssigkeiten (*Ieda*/Japan)
— Grundlagenstudien zur Aufklärung der Vor- und Durchschlagprozesse sowie der Alterungsvorgänge in Festkörpern unter Beachtung von Raumladungseinflüssen und der Einwirkung ionisierender Strahlung, Diagnoseverfahren (22.01/02/03/04/05/06/07/09 und 23.01/02/04/05/07/09/11/13/20/25)
— Grenzschichtverhalten von Mischdielektrika, Untersuchungen zum TE-Verhalten und Messung thermisch stimulierender Ströme, Einfluß der Einwirkdauer der Spannungsbelastung (22.10/11 und 23.16/17/18)
— Durchschlagmechanismen in Isolierflüssigkeiten, Differenzierung von Isolierölqualitäten und Prüfverfahren, Einfluß von Partikelverunreinigungen (22.12/13/14 und 23.19/21/22/23).

Sektion 3: Elektromagnetische Felder

Gruppe 31 und 33: Feldberechnung (*Nikolopoulos*/Griechenland)
— Berechnung 3dimensionaler, nichtrotationssymmetrischer Elektrodenanordnungen (31.01/02 und 33.01/02/10)
— Optimierung der Elektrodenkontur (31.03/05/06/07/08/09)
— Feldberechnung unter Berücksichtigung von Raumladungen (33.27/28)
— Ausgewählte Berechnungsverfahren für Mehrstoffsysteme sowie für die Entladungsentwicklung von verschmutzten Isolatoren und Feldeinfluß von Objekten unter Freileitungen (33.03/04/05/09/11/12/14/19/20/21/24/29)
— Berechnung elektromagnetischer Felder und Stromverdrängungseffekte (31.04/12/13 und 33.06/07/08)
— Berechnung fast transienter Überspannungen auf der Basis von Ersatzschaltungen (31.10/11 und 33.31).

Gruppe 32 und 33: Feldmessungen, Ionendrift (*Waters*/Großbritannien)
— Feldmeßsonden, Sondentheorie, Kalibrierung, Fremdbeeinflussung (32.05/06 und 33.16/17/18/23)
— Messung fast transienter Überspannungen mit Feldmeßsonden (32.07/08 und 33.15/22)
— Feld- und Ladungsverteilung unter dem Einfluß der Ionenschrift (32.01/02/03/04)

Sektion 4: Teilentladung

Gruppe 41 und 42: Teilentladungsmessung (*Hauschild*/DDR)
— Digitale Verarbeitung von TE-Signalen (41.01 und 42.01)
— Rechnergestützte TE-Prüfung und Entwicklung von Expertsystemen (41.03/05/08/12 und 42.04)
— Meßverfahren für die TE-Diagnose und Gerätetechnik (41.02/04/09/10 und 42.02/03/06/07/08)

Sektion 5: Freiluftisolierungen und Verschmutzung

Gruppe 51 und 52: Freiluft-Kunststoffisolatoren (*Sletbak*/Norwegen)
— Ergebnisse von Langzeit-Freiluftversuchen (51.01/02/03)
— Klima- und Lichtbogenbeständigkeit hochpolymerer Kunststoffisolatoren (52.03/05/19)
— Erosion von Isolierstoffoberflächen und Metallteilen, Klimabeständigkeit (51.14 und 52.02/04/20)
— Überschlagmechanismen bei Gleich-, Wechsel- und Impulsspannung sowie Klärung der Polaritätseffekte (51.06/08/09/10/11/12 und 52.06/10/16)

Literaturfortsetzung von S. 147

[3] *Merl, W.; Dürrwächter, E.:* Kontaktwiderstand und Reibung von Kupferkontaktstücken in Steckverbindern für die Energietechnik. V. Internationale Kontakttagung München 1970. Tagungsband 1, S. 127–130
[4] TGL 16554. Armaturen für stromführende Verbindungen-Prüfungen. Ausg. 1987
[5] VDE 0220/2. Bestimmungen für Preßverbinder in Starkstrom-Kabelanlagen. Ausg. 1978

EA 5839

— Fremdschichterfassung und zustandsbezogene Fremdschichtprophylaxe (51.04 und 52.11/12/15)
— Zusammenhang zwischen Verschmutzungskenngrößen (51.12)
— Potential- und Feldstärkeverteilung bei Gleichspannung (51.05/13)
— Fremdschichtprüftechnik (52.13/14/17/18)
— Temperatur- und Widerstandsverteilung an verschmutzten Oberflächen (52.07/09)
— Mechanische Beanspruchung von Glaskappenisolatoren (52.01)
— Einfluß der Rückenhalbwertszeit von Schaltimpulsspannungen auf die Überschlagspannung (52.21)

Sektion 6: Hochspannungs-Prüfausrüstungen und Verfahren

Gruppe 61: Hochleistungs-Impulstechnik (*Carrara*/Italien)
— Impulsgeneratoren für elektrophysikalische Anwendungen in der Kerntechnik, zur Blitzforschung und für Untersuchungen der elektromagnetischen Verträglichkeit (61.02/03/05/06/07)
— Komponenten, insbesondere Schaltfunkenstrecken (61.04/08/09/10/11)
— Projekt eines 50-MV-Impulsgenerators zur Simulation realer Blitzentladungen (61.05)

Gruppe 62: Hochspannungs-Prüfausrüstungen (*Thione*/Italien)
— 3-MV-Wechselspannungsprüfanlage (62.10)
— Anlagen zur Prüfung gasisolierter Schaltanlagen (SF_6) unter Vor-Ort-Bedingungen, insbesondere Resonanzkreise (62.01/02/03)
— Tiefstfrequenzgenerator zur Prüfung verlegter Kabel (62.04)
— Transformatorprüfungen und Fehlerortung (62.05/06)
— Parameteranforderungen für Anlagen zur Prüfung verschmutzter Isolierungen, insbesondere Gleichspannungs-Prüfanlagen (62.07/08/09/10/12/13)
— Anlage zur Prüfung von Überspannungsableitern (62.14)

Gruppe 63: Prüfeinrichtungen und Verfahren (*Carrara*/Italien)
— Prüfanlagen für hohe Wechsel- und Gleichspannungen (63.01/02/03/04/18)
— Kurzzeit-Impulsgeneratoren (63.05/08)
— Praktische Prüfprobleme im Zusammenhang mit Zuleitungen, Kabelendverschlüsse sowie Prozeduren (63.10/11/12)
— Computergestützte Meßsysteme und Expertsysteme (63.10/11/12)

Sektion 7: Hochspannungs-Meßausrüstungen und -Verfahren

Gruppe 71 und 73: Impuls-Spannungsteiler (*Hylten-Cavallius*/Brasilien)
— Übertragungseigenschaften, Response-Parameter, Convolution, rechnergestützte Messungen (71.01/02/03/04/05/06/07)
— Messung von fast transienten Spannungen (71.08/09/12 und 73.01)
— Kalibrierung und Genauigkeitsanforderungen (71.10 und 73.02/03/04/05/06/15)
— Spezialprobleme, Druckgaskondensatoren (71.11 und 73.09/10/11/12/13/14)

Gruppe 72 und 73: Transientspeicher (Digitizer), Optoelektronik (*Schwab*/BRD)
— Parameteranforderungen für Digitizer in der Hochspannungsmeßtechnik (72.01/02/04)
— Meßerfahrungen insbesondere bei Überspannungsmessungen im Netz sowie bei Trafo-Prüfungen (72.04/05/06)
— Spezialanwendungen der Optoelektronik, insbesondere für Messungen auf Hochspannungspotential, Strom- und Feldmessungen (72.07/08/09 und 73.07/08/14)

Sektion 8: Blitzschutz und Beeinflussungen

Gruppe 81 und 83: Blitzphänomene, Blitzschutz, Beeinflussungen (*Janischewsky*/Kanada)
— Physik des Blitzeinschlages, Simulation und Schutzmaßnahmen (81.01/02/04/07 und 83.07/08/09/10)
— Auswirkungen von Blitzeinschlägen, Blitzüberspannungen (81.03/05/09 und 83.07/08/09/10)
— Blitzschutzprobleme bei Flugzeugen (81.09)
— Erdungsprobleme (81.05/06)
— Blitzzähler (81.08)
— Beeinflussungen, Elektromagnetische Störungen und Rückwirkungen, Störpegelmessungen, Einfluß von Hochspannungsanlagen auf die Umgebung (83.11/12/13/14/15/16/17/18/19)
— Schutz elektronischer Schaltungen (81.07)

Gruppe 82 und 83: Zinkoxidableiter (*Jacob*/USA)
— Einfluß unterschiedlicher Belastungen, insbesondere im Kurzzeitbereich sowie bei zeitweiligen Spannungsüberhöhungen (82.01/02/03/04/05/06 und 83.02/03)
— Meßtechnik für MOA (82.09/10/11/12 und 83.06)
— Alterungsverhalten, thermische Stabilität (82.08 und 83.01/04/05)
— Betriebsdiagnose (82.07)
— Einfluß von Verschmutzung (82.13)

Sektion 9: Szezialprobleme der Hochspannungstechnik

Gruppe 91: Elektrostatik und Korona (*Zingales*/Italien)
— Charakteristika elektrostatischer Entladungen (91.06/07)
— Elektrofilter (91.03/05/06/07)
— Spezialprobleme von Koronaentladungen, Dämpfung von Wanderwellen (91.01/02/08)

Gruppe 92: Vakuum-Isolierungen (*Quin*/VR China)
— Einfluß von Restgas und Grenzflächen (92.01/05/06)
— Vordurchschlag- und Durchschlagphänomene, Mikroentladungen, (92.02/03/04)
— Optimierung Plasma-Injektor im Vakuum-Trigatron (92.07)

Gruppe 93: Spezialgebiete (*Carrara*/Italien)
— Feldsteuerung von Generatorspulen (93.01)
— Steilimpulsübertragung in Statorwicklungen (93.02)
— Anwendung der Supraleitung (93.04)
— Langzeitstabilität keramischer Hochspannungskondensatoren (93.05).

Die Berichte liegen in den entsprechenden Informationsstellen (VEB Transformatoren- und Röntgenwerk, VEB Kombinat Keramische Werke Hermsdorf, TU Dresden, TH Ilmenau, IH Zittau) vor.

E. Lemke, Dresden EA 2719

9. Power System Computation Conference

Die PSCC (Konferenz zur Berechnung von Energiesystemen) findet nunmehr seit 25 Jahren alle 3 Jahre statt. Die 9. PSCC-Tagung wurde vom 31. August bis 4. September 1987 in Cascais (Portugal) durchgeführt. Präsident der Tagung war *P. Feintuch* (Frankreich). Die Tagung wurde von 284 Teilnehmern aus über 30 Ländern besucht. Die 151 Beiträge wurden an 5 Tagen in parallelen Sessionen vorgestellt und diskutiert. Die Tagungsmaterialien liegen nur in englischer Sprache vor, die auch Tagungssprache war. Sie sind in einem Sammelband von etwa 1000 Seiten enthalten, der sich in der Staatlichen Hauptlastverteilung Berlin befindet.
Das umfangreiche Tagungsmaterial gibt einen wertvollen Überblick über den international erreichten Stand der Anwendung moderner Rechentechnik und Verfahren bei der Planung und im Betrieb von Elektroenergiesystemen.
Im Sonderheft Nr. 15/87 zum Informationsdienst „Elektroenergieversorgung" des Instituts für Energieversorgung Dresden werden alle Beiträge referiert. Im folgenden werden die Titel der Beiträge in deutscher Übersetzung angegeben:

1. Themenkomplex: Netzplanung

[1] *Liu Zhaoxu*, (China), u.a.: Die maximale Lastdekkung eines Elektroenergiesystems unter Einbeziehung der transienten Stabilität
[2] *Gross, G.*, (US), u.a.: Das Planungsmodell der Pacific Gas and Electric Co
[3] *Schweppe, F. C.*, (US), u.a.: Mehrfach-Kompromißanalysen in der Planung von Energiesystemen
[4] *Albouy, F.*, (F), u.a.: Planung internationaler Zwischensystemverbindungen aus der Sicht der EDF

2. Themenkomplex: Betriebsplanung

[1] *Becker, G.*, (BRD), u.a.: Vereinfachte Blindleistungssteuerung in Verteilungsnetzen
[2] *Kermanshahi*, (Japan), u.a.: Dynamischer Einsatz der Erzeugerleistung unter Berücksichtigung der Betriebssicherheit und von Umweltbedingungen
[3] *Handschin, E.*, (BRD), u.a.: Langzeit-Betriebsplanung für thermische Elektroenergiesysteme
[4] *Jerosolimski, M.*, (F), u.a.: Planung der Instandhaltung und Umladungsstillstände für Druckwasserreaktoren bei der EDF
[5] *Brännlund, H.*, (SF), u.a.: Optimale Erzeugungsplanung in großen hydro-thermischen Energiesystemen mit Hilfe der Netzwerkplanung

3. Themenkomplex: Statische Stabilität

[1] *Dadeno, P. L.*, (Kanada): Überblick über die Hauptaufgaben und die gegenwärtigen Tendenzen in der Praxis der Modellierung der Generatorstabilität
[2] *Chandra, A.*, (Kanada), u.a.: Selbstabstimmende Stabilitätssteuerung mit selbstsuchender Polradverschiebung für die Steuerung von Energiesystemen
[3] *Sekine, Y.*, (Japan), u.a.: Eine Methode zur harmonischen Analyse von Wechselstrom-Gleichstrom-Übertragungssystemen
[4] *Brucoli, M.*, (I), u.a.: Dekomposition und Stabilisierung von großen elektrischen Netzen
[5] *Yorino, N.*, (Japan), u.a.: Ermittlung parametrischer Resonanzerscheinungen unter Laborbedingungen

4. Themenkomplex: Systemsicherheit und -optimierung I

[1] *Monticelli, A.*, (Brasilien), u.a.: Eine neue Generation von Energie-Management-Systemen
[2] *Saitoh, H.*, (Japan), u.a.: Dynamische Sicherheitseinschätzung durch Analyse des Lastflußfrequenzspektrums

[3] *Mercede, F.*, (US), u.a.: Ein Vergleich der direkt bestimmten dynamischen Sicherheitskennwerte
[4] *Hein, F.*, (BRD), u.a.: Das On-line-Sicherheitsbewertungssystem der Energieversorgung Schwaben AG
[5] *Gorenstin, B. G.*, (Brasilien), u.a.: Ein Verfahren für die Integration der Schaltzustandsoptimierung des Netzes und der Umverteilung des Generatoreinsatzes bei der Sicherheitsanalyse von Energiesystemen

5. Themenkomplex: Zuverlässigkeit von Elektroenergiesystemen I

[1] *Wellssow, W. H.*, (BRD): Ungenauigkeiten bei der Berechnung der Zuverlässigkeit von Energiesystemen
[2] *Billington, R.*, (Kanada), u.a.: Ein Zuverlässigkeitsmodell auf der Grundlage der Verwendung von Daten aus dem Informationssystem für Anlagenzuverlässigkeit der kanadischen Elektrizitätsgesellschaft
[3] *Billington, R.*, (Kanada): Die Dispersionsanalyse in der Zuverlässigkeitsbewertung von Verteilungssystemen
[4] *Singh, C.*, (US), u.a.: Ein analytisches Verfahren für die Einbeziehung von betrieblichen Gesichtspunkten in die Modellierung der Zuverlässigkeit von Verbundsystemen
[5] *Oliveira, G. C.*, (Brasilien), u.a.: Ein Ausbau-Planungsmodell für große Energiesysteme mit Zwischensystemverbindungen unter Einbeziehung von Zuverlässigkeitsbedingungen

6. Themenkomplex: Wasserkraftwerkseinsatz

[1] *Fourez, M.*, (B), u.a.: Kurzzeitoptimierung der Erzeugung von Kraftwerken einschließlich Pumpspeicherwerke und Kernkraftwerke
[2] *Ea, K.*, (F), u.a.: Tagesplanung im EDF-Kraftwerkssystem mit Optimierung der Erzeugung von Speicherkraftwerken
[3] *Kalliauer, A.*, (A): Entscheidungen mit minimalem Risiko in der Pumpspeicherung- und der Ölvorratswirtschaft
[4] *Hreinsson, E. B.*, (Island): Hydroelektrische Projektierung mit Hilfe von heuristischen Verfahren und der dynamischen Programmierung

7. Themenkomplex: Kraftwerksplanung

[1] *Satoh, H.*, (Japan), u.a.: Abschätzung örtlich differenzierter Elektroenergiekosten mit Hilfe der linearen Programmierung
[2] *Chen Shu-jun*, (China), u.a.: Die Anwendung der stochastischen linearen Programmierung für die Berechnung des Zuverlässigkeitsindexes eines Erzeugungssystems
[3] *Rabensteiner, G.*, (A): Ausbau- und Betriebsplanung in Systemen mit kombinierter Produktion von Elektroenergie und Wärme
[4] *Xifan Wang*, (China), u.a.: Ein Verfahren der probabilistischen Modellierung von Energiesystemen
[5] *Martinoli, A. S.*, (YU), u.a.: Optimaler Betrieb von Pumpspeicherwerken in der langfristigen Systemplanung
[6] *Söder, L.*, (S), u.a.: Kapazitätsmäßige Einordnung und energetischer Wert von Windkraftanlagen in einem hydraulisch-thermischen Elektroenergiesystem
[7] *Evans, G. C.*, (GB),: Ein vereinfachtes Programm für die Jahresplanung
[8] *Porat, Y.*,(Israel), u.a.: Pumpspeicherwerke als Ergänzung zum Elektroenergieerzeugungssystem Israels

8. Themenkomplex: Systemsteuerung

[1] *Hiyama, T.*, (Japan), u.a.: Konzeption eines diskreten Reglers für die dezentralisierte automatische Generatorregelung auf der Grundlage der Dekompositionsmethode
[2] *Uenosono, C.*, (Japan), u.a.: Ein total adaptiver Generatorregler mit multivariabler optimaler Regelung
[3] *Van Nielen, N. S.*, (Niederlande), u.a.: Automatische Steuerung der Erzeugung und Überwachung der Reserveleistung in den Niederlanden
[4] *Searle, H. R.*, (Südafrika), u.a.: Ein interaktives Interface für die Netzsteuerung
[5] *Kil-Yeong Song*, (Korea), u.a.: Das neue nationale Steuerzentrum Koreas
[6] *Murray, B. E.*, (GB): Ein integriertes Rechnernetz für die Systemsteuerung
[7] *Demartini, G.*, (I), u.a.: Der Zustandsschätzer im nationalen Steuerzentrum von ENEL ist in Betrieb

9. Themenkomplex: Netzschutz I

[1] *Phadke, A. G.*, (US), u.a.: Der Einfluß des adaptiven Schutzes auf die Steuerung von Energiesystemen
[2] *Garrett, B. W.*, (Kanada), u.a.: Digitale Simulation von Schutzsystemen unter transienten Betriebsverhältnissen
[3] *Haubrich, H.-J.*, (BRD), u.a.: Berechnung und Folgen von Zwischensystemfehlern
[4] *Nilges, J.*, (BRD), u.a.: Impedanzberechnung von Doppelleitungen
[5] *Conrad, Th.*, (BRD), u.a.: Verfahren zur Korrektur von Stromwandler-Sekundärströmen

10. Themenkomplex: Leistungsflußberechnung

[1] *Tarasov, V. I.*, (SU), u.a.: Verfahren zur Berechnung schlecht konditionierter Lastflußsysteme
[2] *Aitchison, P. W.*, (GB), u.a.: Netzberechnungsverfahren für schnelle und genaue Ergebnisse auch bei Vorhandensein von Singularitäten
[3] *Yokoyama, A.*, (Japan), u.a.: Automatische uneinheitliche Dekomposition von großen Energiesystemen bei der Parallelverarbeitung
[4] *Winokur, M.*, (Israel), u.a.: Verhütung von Spannungszusammenbrüchen in Verbundsystemen

11. Themenkomplex: Datenbänke

[1] *Rumpel, D.*, (BRD), u.a.: Konzept für eine One-line-Datenbank stützende Netzdatensprache
[2] *Seranski, H.*, (BRD), u.a.: Datenbankmodell und Funktionssystem für Steuerzentren
[3] *Singer, M.*, (Ch): Anwendung eines Datenbanksystems in einem Energie-Management-System

12. Themenkomplex: Lastvorhersage und Produktionskosten

[1] *Laing, W. D.*, (GB), u.a.: Ein Vergleich von Zeitreihenvorhersagemethoden für die Bestimmung des CEGB-Verbrauchs
[2] *Fankhauser, H. R.*, (S), u.a.: Fehlergrenzen und On-line-Anzeige der Kurzzeit-Lastvorhersage
[3] *Sutanto, D.*, (Australien), u.a.: Verbesserungen bei der probabilistischen Produktionssimulation von Energiesystemen

13. Themenkomplex: Elektromagnetische Ausgleichsvorgänge

[1] *Lima, J. A.*, (P), u.a.: Das EMTP hinsichtlich der Genauigkeit der Freileitungsmodellierung
[2] *Langhammer, G.*, (BRD): Digitale Darstellung des Leistungsschalters für Schaltübergänge
[3] *Stein, B.*, (BRD), u.a.: Ein Freileitungsmodell für die Berechnung blitzinduzierter Spannungen
[4] *Oswald, B.*, (DDR), u.a.: Drei-Zeitebenen-Modellierung für Energiesysteme zur effektiven Berechnung von Übergangsprozessen
[5] *Dommel, H. W.*, (Kanada), u.a.: Angenäherte Transformationsmatrizen für unsymmetrische Übertragungsleitungen

14. Themenkomplex: Lastmanagement

[1] *Berrie, T. W.*, (GB): Berechnungsverfahren für die Planung homeostatisch gesteuerter Energiesysteme
[2] *Farmer, E. D.*, (GB), u.a.: Dynamische Preisbildung in der Systemplanung und im Systembetrieb
[3] *Bitzer, B.*, (BRD), u.a.: Langzeitplanung eines Energiesystems auf der Grundlage dynamischer Tarifgestaltung mit Modellierung des Verhaltens der Verbraucher
[4] *Kaerkkaeinen, S.*, (SF), u.a.: Der Effekt der Bedarfsbeeinflussung auf die Kapazität der Erzeugeranlagen und die Kosten.

15. Themenkomplex: Zuverlässigkeit von Elektroenergiesystemen II

[1] *Wu-Wei-jing*, (China), u.a.: Ausbauplanung von Übertragungsnetzen mit Zuverlässigkeitsbedingungen
[2] *Allan, R. N.*, (GB), u.a.: Zuverlässigkeit und Produktionskosten von Verbundsystemen
[3] *Shimo Wang*, (China), u.a.: Lastflußuntersuchungen in vollständig stochastischen Netzen
[4] *Skuletic, S.*, (YU): Auswirkungen der gegenseitigen Abhängigkeit des Ausfalls von Systemelementen auf die Zuverlässigkeitsanalyse von Energiesystemen
[5] *Billington, R.*, (Kanada), u.a.: Kombinierte Verbraucherschadensfunktionen für die Anwendung in der Planung und im Betrieb von Energiesystemen
[6] *Theil, G.*, (A): Schätzung der Zuverlässigkeitskennwerte im österreichischen Hochspannungsnetz
[7] *Camensig, C.*, (I), u.a.: Direkte probabilistische Verfahren zur Berechnung der Zuverlässigkeit von komplexen elektrischen Anlagen oder Teilen des Übertragungssystems
[8] *Braunstein, A.*, (Israel), u.a.: Berechnung von Zuverlässigkeitskennwerten für Umspannwerke auf der Grundlage der Heißstellen-Temperaturmessung der Transformatoren

16. Themenkomplex: Zustandsschätzung und Schlechtdatenerkennung

[1] *Liu, W. E.*, (US), u.a.: Ergebnisse der Anwendung des Hachtel-Matrizenverfahrens für die Zustandsschätzung von Energiesystemen
[2] *Mansour, A. E.*, (BRD), u.a.: Schnelle und robuste Schlechtdatenerkennung, Identifikation und Korrektur mit aufeinanderfolgender direkter rekursiver Zustandserkennung
[3] *Costa, A. S.*, (Brasilien), u.a.: Verfahren zur Identifikation mehrerer fehlerbehafteter Meßwerte durch Zustandsschätzer mit orthogonaler Reihenverarbeitung
[4] *Koglin, H. J.*, (BRD), u.a.: Lokale Redundanzen und Identifikation von schlechten Meßwerten
[5] *Leite da Silva, A. M.*, (Brasilien), u.a.: Dynamische und hybride Zustandsschätzer von Energiesystemen
[6] *Kurzyn, M. S.*, (Australien): Aggregationsverfahren für hierarchische statische Zustandserkennung in großen Energiesystemen

17. Themenkomplex: Transiente Stabilität I

[1] *Handschin, E.*, (BRD), u.a.: Elektrische Lastmodellierung; Analyse, Identifikation und Bewertung
[2] *Yi Zhang*, (China) u.a.: Algorithmus für die Kohärenzerkennung über die Theorie des metrischen Raums
[3] *Ohura, Y.*, (Japan), u.a.: Mikrorechnergestützte Stabilitätsüberwachungssysteme auf der Grundlage der Energiefunktion
[4] *Huang, Jiayu*, (China), u.a.: Ein neues Programm für die Berechnung der transienten Stabilität von Wechselstrom-Gleichstromnetzen

18. Themenkomplex: Systemsicherheit und -optimierung II

[1] *Sormunen, R.*, (SF), u.a.: Ein Rechenverfahren für ein Management zur Erzielung eines ökonomischen Gesamtoptimums bei der bivalenten Anwendung von Elektroenergie und Öl
[2] *Da-yu He*, (China), u.a.: Optimale Planung der Blindleistungskompensation und der Spannungshaltung
[3] *Pereira, M. V. F.*, (Brasilien), u.a.: Ein Dekompositionsverfahren für den optimalen Lastfluß mit Sicherheitsbeschränkungen unter Berücksichtigung des korrektiven Schaltens im Nachhavariezustand
[4] *Verstege, J. F.*, (BRD), u.a.: Ein adaptives Modell für eine verbesserte On-line-Störungsselektion
[5] *Asal, H. P.*, (Ch), Automatische Adaption der dynamischen Grenzen zwischen den externen und estimierten Netzen bei Sicherheitsberechnungen

19. Themenkomplex: Transiente Stabilität II

[1] *Edström, A.*, (S), u.a.: Dynamische Äquivalente für große Verbundsysteme
[2] *Agarkov, O. A.*, (SU), u.a.: Transiente Stabilitätsuntersuchungen für große Energiesysteme unter Verwendung vereinfachter und detaillierter mathematischer Modelle
[3] *Tong Jianzhong*, (China): Dezentralisierte Steuerung von großen Energiesystemen bei Stabilitätsstörungen
[4] *Yasuyuki Ueda*, (Japan): Stabilitätssteuerung in Energiesystemen durch Schalten von Parallelkondensatoren
[5] *A l Azzawi*, (Irak), u.a.: Eine Vergleichsstudie über schnelle Schätzverfahren der transienten Stabilität von Mehrmaschinensystemen
[6] *Yamashiro, S.*, (Japan), u.a.: Schnelle Abschätzung der transienten Stabilität durch linearisierte Lastflußmodelle

20. Themenkomplex: Betriebsplanung II

[1] *Harhammer, P. G.*, (BRD), u.a.: Betriebsplanung von Energiesystemen mit einer günstigen CPU-Zeit mit großen gemischt-ganzzahligen Modellen
[2] *Calitz, A. C.*, (Südafrika), u.a.: Die Bedeutung einer Nominallösung in einem heuristischen Aussetzerprogramm
[3] *Gubina, F.*, (YU), u.a.: Ein Brennstoffmanagementverfahren für die optimale saisonale Betriebsplanung
[4] *Broadbent*, (GB), u.a.: On-line-Preisbildung für Pumpspeicherwerkserzeugung bei der wirtschaftlichen Lastverteilung
[5] *Vieira, X.*, (Brasilien), u.a.: Die Anwendung probabilistischer Methoden bei der Betriebsplanung im brasilianischen Energiesystem
[6] *Moya, O. A.*, (Chile), u.a.: Kraftwerkseinsatzplanung in Energiesystemen unter Berücksichtigung der Kosten für den Leistungs- und Energieaustausch
[7] *Mromlinski, L. R.*, (P), u.a.: Probleme der Planung der Kraftwerksinstandhaltung in Energiesystemen

21/22. Themenkomplex: Expertensysteme

[1] *Knight, U. G.*, (GB): Expertensysteme in der Planung und im Betrieb von Energiesystemen vom Standpunkt eines Ingenieurs der Energieversorgung
[2] *Liu, C. C.*, (US), u.a.: Effektivität von Expertensystemen als On-line-Betriebshilfen

[3] *Kawakami, J.*, (Japan), u.a.: Ein Expertensystem für die Spannungs-Blindleistungs-Planung
[4] *Podbury, C. A.*, (Australien), u.a.: Ein intelligentes, auf Erfahrungswissen beruhendes System für die Instandhaltungsplanung in einem Energiesystem
[5] *Dijk, H. E.*, (Niederlande): Ein Expertensystem für die Diagnose von Transformatorfehlern

23. Themenkomplex: Netzschutz II

[1] *Wiszniewski, A.*, (Pl): Digitaler Differentialschutz für Leistungstransformatoren
[2] *Pilch, Z.*, (Pl), u.a.: Verhalten des Phasenwinkelvergleichsschutzes bei transienten Fehlern auf Übertragungsleitungen mit Längskompensation
[3] *Lobos, T.*, (BRD), u.a.: Digitale Verfahren für die On-line-Schätzung der charakteristischen Prozeßgrößen des Elektroenergiesystems
[4] *Koglin, H.-J.*, (BRD), u.a.: Digitaler Distanzschutz auf dem Wanderwellenprinzip
[5] *El Meruissi, A.*, (B), u.a.: Sammelschienenschutz auf der Basis digitaler Distanzrelais
[6] *Lai, L. L.*, (GB), u.a.: Schutzkoordinierung für industrielle Netze auf einem Personalcomputer unter Berücksichtigung von transienten Betriebsverhältnissen

24. Themenkomplex: Systemsicherheit und -optimierung III

[1] *Ashmole*, (GB): Entwicklungen im Energie-Management für das CEGB-Energiesystem
[2] *Nuorkivi, A.*, (SF): Ökonomische Prinzipien für die Steuerung eines territorialen Heiznetzes bei Anwendung der kombinierten Erzeugung von Elektroenergie und Wärme
[3] *Vidigal, A.*, (P), u.a.: Die Implementierung eines modernen Energie-Management-Systems
[4] *Santos-Nieto, M.*, (Kanada), u.a.: Lineare Untersuchungen der Blindleistungssteuerung für langgestreckte Energiesysteme
[5] *Garzillo, A.*, (I), u.a.: Programme für die Blindleistungskompensation im Rahmen der Netzplanung auf der Grundlage der Lösung linearer Systeme von Ungleichungen
[6] *Lopes, J. A. P.*, (P), u.a.: Schnelle Abschätzung der transienten Sicherheit mit Hilfe der Muster-Erkennungsverfahren
[7] *Zhang Boming*, (China), u.a.: Ein neuer Maschen-Lastflußalgorithmus und seine Anwendung in der On-line-Sicherheitsschätzung von Energiesystemen
[8] *Koglin, H.-J.*, (BRD), u.a.: Korrektives Schalten auf der Grundlage optimaler Strategien

25. Themenkomplex: Planung und Betrieb von Verteilungsnetzen

[1] *Pinto de Sa,, J. L.*, (P), u.a.: Kommunikationsautomaten in Verteilerstationen
[2] *Barruncho, L. M.*, (P), u.a.: Transformatoreinsatz mit Verlustminimierung in den Verteilerstationen
[3] *Fracassi, G. L.*, (I), u.a.: Integriertes Softwaresystem für die Planung von Mittelspannungsverteilungsnetzen
[4] *Partanen, J.*, (SF), u.a.: Der Entwurf radialer Netze auf der Basis eines PC

26. Themenkomplex: Simulationsverfahren

[1] *Germond, A. J.*, (CH), u.a.: Mikrorechnergestützte Simulation als Hilfe bei der Energiesystemausbildung
[2] *Joure, F.*, (F), u.a.: Energiesystemmodelle für einen Dispatchertrainingssimulator
[3] *Petritsch, G.*, (A): Ein Trainings- und Simulationspaket für den Betrieb von Energiesystemen
[4] *Vilhjalmsson*, (Island), u.a.: Erzeugungssimulation im Energiesystem Islands
[5] *Sterling*, (GB), u.a.: Analysedurchführung und Steuerungssoftware unter der Bedingung der Netzinselung und anderen Havariebedingungen

27. Themenkomplex: Erregungssysteme und Generatorausgleichsvorgänge

[1] *Malik, O. P.*, (Kanada), u.a.: Regelung von Schwingungen in einem Energiesystem mit einem Mehrkanalregler
[2] *Ibrahim, A. S.*, (GB), u.a.: Entwicklung von praktikablen sich selbst einstellenden Reglern für Turbogeneratoren
[3] *Brauer, G.*, (BRD), u.a.: Koordinierte Parametereinstellung von PSS und SVS zur Dämpfung von Oszillationen
[4] *Sekine, Y.*, (Japan), u.a.: Eigenwertregelung der Mittelzeitstabilität — Konzept und Algorithmus
[5] *Ramsay, B.*, (GB), u.a.: Eigenwertanalyse der Schottischen und Sudanesischen Energiesysteme
[6] *Matori, I.*, (Japan), u.a.: Eine Selektionsmethode für dominierende Eigenbewegungen — ein neues Verfahren der dynamischen Stabilitätsanalyse
[7] *Saiz-Chichamp, A.*, (Spanien), u.a : Ein selektives Verfahren für die Analyse von subsynchronen Resonanzen
[8] *Balda, J. C.*, (Südafrika), u.a.: Ein Modellreduktionsverfahren für Energiesysteme und seine Anwendung für ein Filterkonzept zur Unterdrückung von subsynchronen Resonanzen

28. Themenkomplex: Leistungsflußberechnung II

[1] *Arsamastsev, D. A.*, (SU), u.a.: Echtzeitsteuerung unter Havariebedingungen mit Hilfe von Verfahren der 2. Ordnung
[2] *Hamura, Y.*, (Japan), u.a.: Faktoranalyse für schlecht konditionierte Lastflüsse
[3] *Qiu Jiajn*, (China), u.a.: Parallele Lastflußberechnung in Energiesystemen
[4] *Viegas de Vasconcelos, A.*, (BRD): Lösung von wenig besetzten linearen Gleichungen auf einem Multiprozessor mit variabler Konfiguration
[5] *Sobierajski, M.*, (Pl), u.a.: Ein Verfahren zur schnellen Identifikation von Leitungsausfällen, die zur Gefährdung des Systembetriebes führen können
[6] *Arsamastsev, D. A.*, (SU), u.a.: Situationsüberwachung in großen Verbundsystemen bei Störungen

29. Themenkomplex: Ergänzung zur Kraftwerksplanung, Expertensystemen und optimalem Leistungsfluß

[1] *Nordlund, P.*, (S), u.a.: Die Modellierung der Ausbauplanung des schwedischen Elektroenergiesystems
[2] *Mankki, P.*, (SF): Die Ausbauplanung der Elektroenergieerzeugung unter den Bedingungen der Ungewißheit
[3] *Patton, A. D.*, (US), u.a.: Ein Monte-Carlo-Simulationsverfahren für die Modellierung der Zuverlässigkeit von Verbundsystemen unter Berücksichtigung betrieblicher Gesichtspunkte
[4] *Stadler, M.*, (CH), u.a.: Ein Expertensystem in der Sprache PROLOG für die Alarmsignalverarbeitung in einem Umspannwerk
[5] *Burri, P.*, (CH), u.a.: Ein Verfahren zur Bestimmung des besten Netzmodells für On-line-Optimierungsberechnungen

R. Mitschke, Berlin EA 2727

Kommission Biotechnologie gegründet

Am 27. Januar 1988 ist die Kommission Biotechnologie beim Präsidium der Kammer der Technik in Berlin gegründet worden. KDT-Präsident Prof. Dr. Dr. *Dagmar Hülsenberg* berief als Vorsitzenden Prof. Dr. sc. techn. *Uwe Setzermann* von der Humboldt-Universität zu Berlin.

Aufgaben der neuen Kommission sind u.a.

- die Koordinierung von KDT-Aktivitäten zur Einführung der Biotechnologie
- die Mitarbeit an Entwicklungs-, Überführungs- und Weiterbildungsaufgaben zu biotechnologischen Stoffwandlungsprozessen, vor allem in der Nahrungsmittelproduktion, in der Pharma- und Chemie-Industrie, in der Landwirtschaft und im Umweltschutz
- die interdisziplinäre Gemeinschafts- und Bildungsarbeit in der KDT.

Die neue Kommission setzt sich aus Vertretern biotechnologischer Produktionseinrichtungen, Ausrüstungs- und Anlagenbaubetriebe, Forschungs- und Bildungsinstitutionen sowie staatlicher Organe zusammen.

Sie werden in den Fachsektionen

— Prozeßtechnik mikrobieller Stoffwandlungen
— Prozeßtechnik enzymatisch katalysierter Stoffwandlungen
— Geräte, Anlagen, Prozeßleittechnik und Labortechnik

zusammenarbeiten.

Die Redaktion EA 2791

Rechnergestützte Qualitätssicherung bei der Fertigung werkzeugmaschinen- und roboterspezifischer Stellmotoren

131. Sektionskolloquium Automatisierungstechnik der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt am 1. Oktober 1987

Als Mitarbeiter des VEB NILES Stellantriebe Dresden sprach Dr. *A. Schmidt* unter oben genannter Themenstellung zu Fragen der

— dezentralen Meßdatenerfassung und zentralen Meßdatenverarbeitung
— Analyse fehlerhafter Werkstücke
— rechnergestützten Meßmittelüberwachung.

Der Betrieb wurde gemäß Ministerratsbeschluß unter dem Aspekt der weitestgehenden Herauslösung der Menschen aus dem unmittelbaren Fertigungsprozeß und dementsprechender Automatisierung der mechanischen Bearbeitungs- sowie der Transport-, Umschlags- und Lagerprozesse für die Produktion von Stellmotoren aufgebaut. Dabei dienen leitliniengeführte Transportroboter sowohl der Kopplung von Dreh- und Fräszellen mit Hochregallagern als auch bereichsübergreifenden Transporten.
Der Ministerratsbeschluß enthält gleichfalls die Realisierung eines rechnergesteuerten automatisierten Qualitätssicherungssystems, wobei vom Grundsatz her folgende Ziele vorgesehen wurden:

— dezentrale Erfassung und Verarbeitung von Meßwerten sowie Entscheidung über Qualitätsparameter (Gut/Ausschuß)
— zentrale Analyse der Meßwerte ohne Rückverfolgung bis zum einzelnen Werkstück
— 100 %ige Stückkontrolle ab Montage
— Nullfehlerproduktion.

Dr. *Schmidt* stellte zunächst die Möglichkeiten der Messung in der Maschine bei Parallelität von Meßzeit und Fertigungszeit der Messung nach Beendigung der Fertigung gegenüber und erläuterte Prinzipien sowie Einsatzgrenzen verfügbarer Meßsysteme. Abgeleitet aus der Notwendigkeit des Anschlusses von Meßwertgebern an das Informationsverarbeitungssystem wurden auf der Basis des K 1520-kompatiblen Systems NANOS Meßcomputer mit verschiedenen Prozeßmodulen entwickelt. Die SCP-Kompatibilität ermöglicht eine modulare Softwareentwicklung am Büro- bzw. Personalcomputer in Turbo-Pascal bzw. Assembler.
Nach Darstellung des Aufgabenspektrums einer Meßstation erläuterte der Referent die Konzipierung eines lokalen Netzes. Das erforderliche Datensammelsystem basiert auf dem Robotron-Multiplexrechner KON 600, an dem bis fünf Verbindungspaare gleichzeitig bedienbar und bis zu 58 Teilnehmer anschließbar sind. Der Datenaustausch erfolgt grundsätzlich über Lichtwellenleiter-Verbindungskabel.
Für die Auswertung der Daten wurde ein spezielles Qualitätsinformationssystem SAD entwickelt und in der Übersicht vorgestellt:

— Zulieferqualität
— Zuverlässigkeit
— Tagesmeldungen
— Fehlermeldungen
— Analysekennziffern
— Leitungsinformationen
— Parameter zur Qualitätsüberwachung sowie Wettbewerbsführung.

Auf der Grundlage des operativen Ausstoßplanes sowie im Ergebnis der Prozeßsteuerung werden Rückmeldungen an die Montage ermöglicht, die Informationen darüber enthalten, zu welchem Zeitpunkt welcher Motor zu montieren ist. Da jeder Werktätige den Erhalt eines Auftrages gegenzeichnen muß, ist bei auftretenden Fehlern eine Rückverfolgung bis zum Verursacher möglich.

Die Auswertung von Fehlermeldungen durch die TKO ist einerseits eine Grundlage für die Kostenrechnung des Betriebes, ermöglicht andererseits eine konkrete Ermittlung von Fehlerursachen und dient nicht zuletzt auch der Verbesserung des Qualitätsdenkens.

Im weiteren auf die Fragen der Meßmittelüberwachung eingehend, stellte der Referent das Ziel voran, durch Anwendung eines Programmsystems das gegenwärtig vorhandene Karteikartensystem abzuschaffen und dabei gleichzeitig unbedingt eine aktuelle Übersicht zu garantieren. Die Abschätzungen zeigten, daß bis zu einem Umfang von 10000 Meßmitteln der Bedarf von Disketten zwar erheblich ist, aber diese Lösung noch als realisierbar angesehen werden kann. Ein wesentlicher Schwerpunkt der Meßdatenverwaltung, die gegenwärtig noch auf manueller Messung und Dateneingabe beruht, ist die Umstellung auf automatische Prüfung und Dateneingabe an den Zentralrechner mit Meßcomputern. Der weitere Ausbau der dezentralen Meßtechnik verursacht auch in den kommenden Jahren noch erhebliche Kosten.

Entscheidende Grundlage des flexiblen Fertigungssystems sind die Insellösungen. Es ist zwingend notwendig, die Organisationsstruktur des Betriebes bis hin zu allen Randbedingungen konsequent umzusetzen.

G. Tippmann, Karl-Marx-Sadt EA 2711

XIX. Kraftwerkstechnisches Kolloquium in Dresden

Das im Jahresrhythmus gemeinsam von der Sektion Energieumwandlung der TU Dresden, dem Wissenschaftlichen Rat des Forschungsprogramms „Ingenieurwissenschaftliche Grundlagen der Energiewirtschaft" des Ministeriums für Hoch- und Fachschulwesen, der Wissenschaftlich-Technischen Gesellschaft für Energiewirtschaft der KDT sowie den KDT-Industriezweigaktivs der jeweils beteiligten Industriepartner veranstaltete Kraftwerkstechnische Kolloquium stand im Jahre 1987 (27. und 28. Oktober) unter dem Thema „Betriebs- und Konstruktionsprobleme bei Turbomaschinen".

Die Hauptaspekte dieses von mehr als 450 Fachleuten aus der DDR und mehr als 80 Gästen aus der UdSSR, der ČSSR, der VRP, der UVR, der VRB, der BRD, Österreich und der Schweiz besuchten Kolloquiums wurden in den drei Plenarvorträgen aufgezeigt. Der Rektor der TU Dresden, Magnifizenz Prof. *Jacobs*, erläuterte mögliche Perspektiven der CAD/CAM-Technik im Maschinenbau und dazu geleistete und geplante Beiträge der TU Dresden. Der Direktor der Sektion Energieumwandlung der TU Dresden, Prof. *Schramm*, analysierte die Aufgaben des Turbinenbaues bei der Rekonstruktion von Großkraftwerken und Prof. *Kleinert*, Leiter des Wissenschaftsbereichs Thermischer und hydraulischer Maschinenbau der Sektion Energieumwandlung der TU Dresden, berichtete zusammen mit *Spengler*, Direktor des Forschungszentrums des Kombinats Pumpen und Verdichter, über Forschungs- und Entwicklungsprobleme bei Kreiselpumpen und Turboverdichtern.

Die nachfolgenden 50 Fachvorträge fanden in zwei getrennten Sektionen, „Turbinenanlagen" und „Pumpen- und Verdichteranlagen", statt. In der Sektion „Turbinenanlagen" waren die 25 gehaltenen Vorträge vor allem den Schwerpunkten

- Betriebserfahrungen und Rekonstruktionsprobleme bei konventionellen Heißdampfturbinen großer Leistung
- Auslegungs-, Konstruktions- und Betriebsprobleme bei Sattdampfturbinen für Kernkraftwerke und naßdampfbeaufschlagten ND-Teilen konventioneller Kondensationsdampfturbinen und
- Thermische Ermüdung und Lebensdauer hochbeanspruchter Turbinenbauteile

gewidmet.

Zum erstgenannten Schwerpunkt berichteten u.a. *Strunz* und *Mandel* (OIK Vetschau) über Betriebserfahrungen mit Dampfturbinen der Leistungsgröße 100 bis 500 MW in konventionellen Kraftwerken der DDR, *Rusek* (Warschau) über Betriebserfahrungen und Probleme an den Kraftwerksblökken großer Leistung in der VR Polen, *Hlubek* (RWE Essen) über Schäden an Dampfturbinenbauteilen nach längerer Betriebszeit und *Heymann* (TU Dresden) u.a. über rechnergestützte Schwingungsüberwachung an Turbosätzen. Rekonstruktionsprobleme wurden von *Mossakowski* (Bergmann Borsig Berlin) mit dem Vortrag „Reko-Lösungen der 210-MW-Heißdampfturbine für eine weitere Betriebsperiode von 200000 h", von *Slouf* und *Drahy* (SKODA Plzen) mit den Ausführungen zur Rekonstruktion und Modernisierung von SKODA-Dampfturbinen für die kombinierte Elektroenergie- und Wärmeerzeugung sowie von *Gundlach* und *Porochnicki* (TU Lodz) mit der Vorstellung neuer Konstruktionskonzepte von Entnahme- und Heizkraftwerksturbinen behandelt.

Zum zweitgenannten Schwerpunkt informierte *Kosjak* (Turbinenfabrik Charkov) über Entwicklungen des sowjetischen KKW-Turbinenbaues in der Produktionsvereinigung TURBOATOM, *Ryshkov* (ZKTI Leningrad) über die aerodynamische Vervollkommnung des ND-Durchströmteils von Dampfturbinen, *Krzyzanowski* (IfS Gdansk) über Auslegungs- und Betriebsprobleme bei Naßdampfstufen von Großturbinen, *Faddejev* (LPI Leningrad) über die Gewährleistung einer zuverlässigen Arbeit des Schaufelapparates von Naßdampfturbinen in einem breiten Belastungsspektrum und *Drahy* (SKODA Plzen) über die Entwicklung von ND-Endstufen für Großdampfturbinen. Der Vortrag von *Wolf* (IH Zittau) befaßte sich u.a. mit theoretischen Untersuchungen zur Bestimmung des Ablösegebiets an der Nabe der Endstufen von Kondensationsdampfturbinen. *Maier* (Universität Stuttgart) berichtete über die auf einem Endstufenversuchsstand in Naßdampfströmung gewonnenen Meßergebnisse zur stoßinduzierten Strömungsoszillation in Dampfturbinendiffusoren, und *Sörgel* (TU Dresden) stellte Ergebnisse experimenteller Modelluntersuchungen zur Erosionskorrosion an naßdampfbeaufschlagten Turbinenbauteilen vor.

Zum dritten Schwerpunkt gab das Autorenkollektiv *Bernstein* (TU Dresden), *Randa* (SKODA Plzen), *Schröder* (BB Berlin) und *Tschischik* (ZKTI Leningrad) einen Überblick über Ergebnisse gemeinsamer Untersuchungen zur Lebensdauer von Dampfturbinenanlagen. Anschließend daran erläuterten *Dietrich* (KKAB, Betriebsteil Pirna) Berechnungs- und Überwachungsprobleme bei Turbinen- und Ventilgehäusen, *Buchheim* und *Gampe* (TU Dresden) die theoretische und experimentelle Ermittlung von Temperaturfeldern und Wärmespannungen in Turbinenbauteilen und *Chmelniak* u.a. (TH Gliwice) theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Zwangsabkühlung von Dampfturbinen.

Daß die Verbesserung der strömungstechnischen Grundlagen — wie im Plenarvortrag von *Kleinert/Spengler* dargelegt — weiterhin Hauptgegenstand der Hochschulforschung für den Industriezweig Pumpen und Verdichter ist, kam in der Mehrzahl der Vorträge der zweiten Sektion zum Ausdruck, die sich folgenden Schwerpunkten zuordnen lassen:

- Experimentelle und theoretische Untersuchung der Strömung in den Bauteilen von Pumpen und Verdichtern
- rechnergestützter Entwurf von Pumpen und Verdichtern
- spezielle Konstruktions- und Einsatzprobleme von Bauteilen und Anlagen.

Beim ersten Schwerpunkt reichten die theoretisch orientierten Beiträge von einem verbesserten Verfahren zur Berechnung der reibungsfreien subsonischen Meridianströmung über Variationsformulierung und Finite-Elemente-Technik (*Orsulik*, Prag-Bechovice) bis zur Lösung der Navier-Stokes-Gleichungen für laminare, inkompressible und stationäre Strömung in zweidimensionalen Kanälen (*Nicke*, TU Dresden). Ebenfalls zur Berechnung der reibungsbehafteten Strömung berichtete *Snop* (Prag-Bechovice), der Erfahrungen zum Entwurf von Diffusoren mit minimalen Verlusten mitteilte. Mit der verbesserten Realisierung des Kernströmung-Grenzschicht-Modells für Schaufelgitter befaßten sich die Beiträge von *Hackeschmidt/Werner* (HfV Dresden) und *Schütte* (TU Magdeburg). Während der erstgenannte Vortrag auch experimentelle Ergebnisse zur Strömungsstruktur in einem geraden Grenzleistungsgitter enthielt, beschäftigte sich der zweite mit den Möglichkeiten der zweidimensionalen Berechnung der Strömung in radialen Laufrädern unter Nutzung von asymptotischen Entwicklungen der Navier-Stokes-Gleichungen.

Die Untersuchung der feststoffbeladenen Strömung in Kreiselpumpen war Gegenstand der Beiträge von *Grosev* (HME Sofia) und *Grabow/Gneipel* (BA Freiberg), wobei erstere Axialpumpen, letztere Freistrompumpen betrachteten. Zur Klassifizierung und Berechnung instationärer Strömungseffekte in axialen thermischen Strömungsmaschinen sprach *Grahl* (Bochum). Die instationären Schaufelwirkungen zwischen stehenden und bewegten Schaufelgittern untersuchte *Jedryszek* (Wroclaw). Die Notwendigkeit der experimentellen Ergänzung theoretischer Strömungsuntersuchungen

kam in den Beiträgen von *Siekmann/Radke* (TU Berlin-West) und *Heinrich* (TU Dresden) zum Ausdruck. Während *Siekmann* die Anwendung der LDA-Meßtechnik auf diagonale Abwasserpumpen erläuterte, berichtete *Heinrich* über Ergebnisse der Sondenmessung im beschaufelten Diffusor eines Abgasturboladers.

Die Beiträge zum zweiten Schwerpunkt zeigten, daß sich auf der Basis der strömungstechnischen Grundlagenforschung in zunehmendem Maße Verfahren zum rechnergestützten Entwurf der strömungsführenden Bauteile von Pumpen und Verdichtern entwickeln. *Seleznev* und Mitarbeiter (LPI Leningrad) wiesen darauf hin, daß die zugrunde gelegten mathematischen Modelle dem jeweiligen Entwurfsschritt von Turboverdichtern entsprechen müssen. *Mahn* (KPV Halle) gab einen Überblick über die Struktur eines CAD/CAM-Systems zum Entwurf radialer Laufräder. Der Beitrag von *Smid/Sykora* (TU Prag) beschäftigte sich mit speziellen Auslegungsfragen von Laufrädern und Leitvorrichtungen für Turboverdichter.

Im Rahmen des dritten Schwerpunktes beschäftigten sich *Franke/Hergt* (KSB Frankenthal) mit strömungstechnischen, konstruktiven und dynamischen Problemen an Kesselspeisepumpen. Der Beitrag von *Röppischer/Schröder* (KPV Leipzig) teilte Ergebnisse experimenteller und theoretischer Untersuchungen an Wärmeübertragerelementen für Kreiselverdichter-Kühler mit. Die Rotordynamik hochtouriger Turboverdichter mit radialen Kippsegmentlagern untersuchte *Ludscheidt* (KPV Leipzig). Neue Erkenntnisse zu Schwimmring-Dichtungen für hochtourige Turboverdichter waren Gegenstand eines zweiten Vortrages von *Seleznev* und Mitarbeitern. Die Dosiergenauigkeit einer neuartigen Kolbendosierpumpe behandelten *Simov* u.a. (HME Sofia). Probleme der Technik, Ökonomie und Ökologie bei Aufbau oder Rekonstruktion kleiner Wasserkraftanlagen wurden von *Matthias* (TU Wien) in Zusammenhang gebracht.

Mikrofiches mit den vollständigen Texten können für die meisten Beiträge unter der Anschrift TU Dresden, Sektion Energieumwandlung, Dr. *Nöther*, Mommsenstraße 13, Dresden, DDR — 8027, angefordert werden.

G. Sörgel, G. Will, Dresden EA 2718

Arbeitsgruppe Stromtragfähigkeit 3. Arbeitsberatung

Die „Arbeitsgruppe Stromtragfähigkeit" wurde im August 1984 auf Initiative der Technischen Universität Dresden, Sektion Elektrotechnik, Lehrstuhl Hochspannungsgeräte (Prof. Dr. sc. techn. *H. Böhme*, Dr. sc. techn. *H. Löbl*) gebildet. Sie stellt sich das Ziel, für die Stromtragfähigkeit von Stromleitanordnungen und für Geräte zum Elektroenergietransport bei der Koordinierung der Grundlagenforschung, der Einschätzung von Ergebnissen sowie deren Überführung in die Praxis wirksam zu werden.

Vom 16. bis 20. November 1987 traf sich die Gruppe zu ihrer 3. Arbeitsberatung in Altenberg/Erzgeb. Vertreter von Hochschulen (Technische Universität Dresden, Ingenieurhochschule Zittau), der geräteherstellenden Industrie (Starkstromanlagenbau „Otto Buchwitz" Dresden, Transformatorenwerk „Karl Liebknecht" Berlin, Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern" Dresden, Starkstromanlagenbau Magdeburg, Schaltgerätwerk Muskau, Elektro-Apparate-Werke „Friedrich Ebert", Berlin, Zentrum für Forschung und Technologie des Kombinats Automatisierungsanlagenbau Berlin, Hochspannungsarmaturenwerk Radebeul) und den Betreibern von Elektroenergieanlagen (Institut für Energieversorgung im Kombinat Verbundnetz Energie, Energiekombinat Dresden) tauschten in aktiver Mitarbeit aller Beteiligten Erfahrungen zu folgenden Problemen aus:

- Nutzen von Reserven bei der Elektroenergieübertragung in vorhandenen Anlagen
- wirtschaftlicher Materialeinsatz und herstellungs- sowie montagefreundliche Konstruktion bei Neuentwicklung von Geräten
- Alterung, Zuverlässigkeit und Diagnose der Stromtragfähigkeit von Elektroenergieanlagen.

Schwerpunkte der Diskussion waren folgende Ergebnisse von experimentellen Untersuchungen und Berechnungen:

- Erwärmungsberechnung von Geräten und Anlagen nach der Wärmenetzmethode mit Hilfe eines Arbeitsplatzcomputers (vgl. hierzu Projektierungsvorschrift „Berechnung der Strombelastbarkeit und der Temperaturen von elektrotechnischen Betriebsmitteln und von Schaltanlagen" 1.7/9.86, herausgegeben vom VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin — Zentrum für Forschung und Technologie —, und *Philippow, E.*, Taschenbuch Elektrotechnik, Bd. 5, Abschnitt 3.6.)
- zeitweilige Stromüberlastbarkeit von elektrotechnischen Betriebsmitteln (vgl. hierzu ELEKTRIE, Berlin 39 (1985) 10, S. 377—381)
- Beurteilung des Alterungsverhaltens stromführender Verbindungen unter dem Einfluß elektrischer, thermischer und Umweltbelastungen (vgl. hierzu ELEKTRIE 41 (1987) 5, S. 179—183) und 42 (1988) 4, S. 143 — 148
- Materialien und Verfahren zur Herstellung von Verbindungen der Starkstromtechnik
- Einfluß der Strombelastung auf das Isoliervermögen.

Die Beratung bot Gelegenheit, den Stand der Arbeiten und Ausrüstungen der beteiligten Einrichtungen zu diskutieren, um neue Erkenntnisse schnell praktisch zu nutzen.

Zwischen Herstellern und Anwendern von Geräten wurde auf der Basis physikalisch-technischer Erkenntnisse vermittelt und Schlußfolgerungen für präzisere Prüfvorschriften gezogen.

St. Großmann, Dresden EA 2720

KURZBERICHTE

400-kV-feststoffisolierte Kabel erfolgreich eingeführt

Electrical World 200 (1986) 9, S. 35—36

Die französische Energieversorgung, Electricite' de France (EdF), hat in 3 Kraftwerksanlagen (2 KKW, 1 PSW) die Leistungsabführungen über insgesamt 6,9 km mit einadrigen Kabeln in feststoffisolierter Ausführung installiert und in Betrieb genommen. Es handelt sich dabei um die KKW Nogent-sur-Seine und Cattenom sowie um das PSW Super-Bissorte.

Konstruiert und gefertigt wurden die 400-kV-Plastkabel durch die französische Firma SILEC (Societe Industrielle de Liaisons Electriques). Die Isolierung besteht aus Polyethylen niederer Dichte (LDPE) gegenüber bisher gebräuchlichem vernetztem Polyethylen (XLPE oder VPE). Die derzeitigen 400-kV-Kabel sind weltweit mit Papier-Öl-Isolierung als Niederdruck („Pirelli"-Art)- oder Hochdruck (Rohrkabel „oilostatic")-Ausführungen im Gebrauch.

Kabel mit Festdielektrikum aus XLPE sind erfolgreich bis zu 220 kV Nennspannungen eingesetzt worden; nur die Fa. SILEC hat allein bis zur Betriebsspannung von 225 kV den Einsatz von LDPE demonstriert. Die Gefährlichkeit von geringsten Feuchtigkeitseinschlüssen in der Feststoffisolierung hat bisher den Gebrauch von papier-öl-isolierten Kabeln den Vorzug gegeben.

Die Kabelkonstruktion sollte für mindestens 500 MVA der KKW ausgelegt werden sowie die Leistungsabführung eines großen PSW übernehmen. Die Kurzschlußstrombeanspruchung war mit 63 kA für 0,5 s vorgegeben worden. Die Kabel-Garnituren (Muffen und Endverschlüsse) sollten vergußlos mit komprimierten SF_6-Gas, zur Verhinderung von Explosions- und Feuerausbreitung, gefüllt werden und einen großen Vormontage-Effekt haben. Bei den ausgeführten 225-kV-Kabel-Konstruktionen der Fa. SILEC mit LDPE-Isolierung betrug die Beanspruchungsfeldstärke des Kabels an der Leiterglättung 9,8 kV/mm. Eine Konstruktionsbasis für die 400-kV-Kabel konnte dieser Wert nicht darstellen, da die Isolierungsdicke zu stark wäre. Eingehende Untersuchungen und Prüfungen ermöglichte dann, die Beanspruchungsfeldstärke für die 400-kV-Kabel-Konstruktionen auf 13,4 kV/mm anzuheben. In Abhängigkeit vom Leiterquerschnitt ergaben sich daraus Isolierungsdicken von 27 bis 30 mm.

Für das PSW war ein Kupferleiter-Querschnitt von 633 mm² erforderlich. Die Normal-Betriebstemperatur am Leiter wird mit 343 K und für den Notlast-Betrieb mit 353 K angegeben.

Für die zwei KKW-Anlagen waren die Lastanforderungen geringer, so daß ein Al-Leiter des gleichen Querschnitts ausgewählt wurde.

Jede Feuchtigkeit und jeder Einschluß werden bei der Kabelfertigung durch die äußerst geringe Viskosität des LDPE bei $\geqq$ 473 K

während der Extrusion herausgefiltert. Zur Steuerung des elektrischen Feldes werden hochleitende, mit äußerst geringen Feuchtigkeitsanteilen versehene, Plastmischungen (Leiterglättung und Isolierungsschirm) verwendet. Die Stromtragfähigkeit des konzentrischen Leiters von 63 kA für 0,5 s wird durch die Verwendung von Al-Runddrähten gewährleistet. Für die Erdlegung (mechanische und chemische Beständigkeit) wurde zusätzlich ein Bleimantel vorgesehen. Für das PSW-Kabel mußte eine vertikale Kabelanordnung vorgenommen werden; hierbei wurden die Al-Drähte des konzentrischen Leiters durch ein Al-Band in Verbindung mit einer äußeren Plastschutzhülle aus Polyethylen überdeckt. Die Plastschutzhülle hat eine mit Kerben versehene Außenoberfläche, die den Klemmen und Schellen einen sicheren Halt bietet. Die vormontierten Feldsteuerungskegel haben sich bereits bei den 225-kV-LDPE-Kabel-Abschlüssen als erfolgreich erwiesen. Die Konstruktion besteht aus einem vorgefertigten Elastomer-Teil, der an die Kabelisolierung angedrückt wird. Der Konus ist so gestaltet worden, daß er sowohl für Freiluft-Endverschlüsse als auch für metallgekapselte Kabelanschlußmuffen eingesetzt werden kann.

Die Forderung nach unbrennbaren Füllstoffen für die Endverschlüsse führte zum Einsatz von SF_6-Gas. Der Betriebsdruck beträgt 350 kPa. Der Gasdruck wird durch eine Druckkompensationsanlage konstant gehalten. Durch spezielle Ventile und durch den Dämpfungseffekt des Isoliergases wird der Explosionsdruck, im Fall eines Endverschlußfehlers, innerhalb der Garnitur ausgeglichen bzw. abgebaut.

Die für die Muffen-Montage-Technik bei den 225-kV-Kabel-Anlagen gebrauchte Lösung war bei den 400-kV-Kabel-Anlagen aus zwei Hauptgründen nicht einsetzbar:

1. Es ist eine zu hohe Sauberkeit und Handwerklichkeit bei der Vorort-Montage erforderlich.
2. Es besteht keine reale Überprüfbarkeit der elektrischen Güte der Muffe unter den Vorort-Montage-Bedingungen.

Die Konstruktion der Verbindungsmuffe besteht aus zwei aneinandergefügten metallgekapselten Kabelanschlußmuffen. Hierbei kann eine im Herstellerwerk unter ständiger Kontrolle und äußerster Sauberkeit gefertigte Garnitur eingesetzt werden. Die komplette Muffe hat einen Durchmesser von 51 cm und eine Gesamtlänge von 2 m (damit entsprechen die Muffenkörper etwa den Abmessungen der von Ölkabeln). Mit jeweils einem Kontaktmanometer sind die Kabelgarnituren ausgeführt, so daß der Gasinnendruck kontrolliert werden kann. Bei einem unteren Druckwert von 270 kPa wird ein Alarm ausgelöst. Bei 220 kPa erfolgt eine automatische Nachspeisung bzw. Druckerhöhung. Der geringe Druck ist nicht kritisch, solange die Überspannungen in erträglichen Grenzen liegen.

Die Kabelanlage im KKW Nogent-sur-Seine versorgt Hilfstransformatoren von einem 400-kV-Umspannwerk. Das 780 m lange System besteht aus drei 633 mm² Al-Leiter-Kabeln mit einem konzentrischen Leiter aus Al-Runddrähten und Pb-Mantel. Diese Kabel sind in Beton-Rohre gelegt worden und enthalten Verbindungsmuffen. Von besonderem Interesse war die Ausführung im KKW Cattenom, wo die neuen LDPE-Kabel mit bestehenden Öl-Kabeln verbunden werden mußten. Es wurde eine Spezialmuffe entwickelt, die eine Öl- und eine Gassektion hat.

Im PSW Super-Bissorte sind zwei 400-kV-Kabelanlagen errichtet worden. Die erste Anlage mit einer Länge von 550 m verbindet die Freiluft-Umspannanlage mit der metallgekapselten Innenraum-Station. Diese Verbindung mit einer Übertragungsleistung von 850 MVA besteht aus zwei parallelen Stromkreisen von je 633 mm² Cu-Leitern, Pb-ummantelt, in Beton-Rohre gelegt.

Die zweite Anlage im PSW Super-Bissorte überträgt 170 MVA von einem Generator zu einem metall-gekapselten Umspannwerk (123 m). Die Trasse enthält einen vertikalen Abschnitt von mehr als 30 m. Das Kabel hat einen Leiter und einen konzentrischen Leiter aus Aluminium, die speziell zur Massereduzierung dieser Anordnung ausgewählt wurden.

In den 4 Kabelanlagen, die bisher installiert wurden, sind 30 Freiluft- bzw. metall-gekapselte Kabelendverschlüsse und 3 Muffen ausgeführt worden.

Der Erfolg dieses Projekts hat sich bestätigt. Auf der CIGRE-Tagung in Paris wurden durch *R. Jocteur, E. Favrie, H. Auclair* und *B. Dhuicq*, der Fa. SILEC, die speziellen Konstruktions- und Prüfungsdetails dargelegt.

Die Fa. SILEC beginnt nun mit Entwurf und Konstruktion von 400-kV-Kabeln mit einem Leiternennquerschnitt von 1200 mm² Kupfer. Dieses Kabel ermöglicht mit nur zwei Systemverbindungen die vollständige Leistungsabführung eines 1300-MVA-KKW. Weitere Arbeiten erstrecken sich z. Z. auf die Ausführung einer mobilen Reparatur-Kabellänge, mit bereits montierten Abschlüssen, die im Havariefall an den Kabelanlagen sofort eingesetzt werden kann.

H.-J. Eger, Berlin EA 2692

VEB Kombinat Nachrichtenelektronik mit ausgewählten Exponatengruppen an der DDR-Ausstellung in Peking beteiligt

Zur Ausstellung der DDR in der Volksrepublik China ist das Kombinat Nachrichtenelektronik mit Spitzenerzeugnissen der RFT-Elektromedizin in der Branchenausstellung „Medizin- und Labortechnik" vertreten.

RFT-BIOSET

Im Mittelpunkt des Angebots der RFT Elektromedizin stehen Geräte und Gerätesysteme zur Erfassung, Registrierung und Überwachung von Biosignalen vom Kombinatsbetrieb VEB Meßgerätewerk Zwönitz. Bestimmendes Exponat im Ausstellungskomplex ist eine Sechskanal-Elektrokardiograf RFT-BIOSET 6000 (Bild 1), ein Spitzenexponat, das in enger Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum des VEB Kombinat Medizin- und Labortechnik Leipzig und dem Ernst-Scheffler-Krankenhaus Aue entstand.

Das Gerät dient der umfassenden Herz/Kreislauf-Diagnostik und angiologischer Vorfelddiagnostik; es hat 5 Meßkanäle für EKG-, Puls-, Phono-, Pulsoszillogramm und Impedanzplethysmogramm-Aufzeichnungen. Eine austauschbare Leiterplatte ermöglicht die Anwendung des Pigmentregistrier- und Thermoschreibverfahrens. Die Bedienung erfolgt im Dialog mit einem 20stelligen alphanumerischen Display. Die Bedienelemente sind funktionsgebunden, meßkanalbezogen farblich abgesetzt und nach Gruppen zusammengefaßt. Die Programmabläufe werden durch einen Mikrorechner gesteuert. Er prüft über Systemcheck seine eigene Funktion und die der Analogkanäle. Über die Tastatur erfolgt die Eingabe der patientenspezifischen Daten, der Uhrzeit und des Datums. Der Leistungsumfang des Gerätes ermöglicht die Registrierung von elf Programmen. Das Gerät hat zwei grundlegende Vorteile: Zum einen wird die Arbeit der bedienenden Krankenschwester wirksam rationalisiert und automatisiert. Zum anderen ermöglicht der Einsatz der Mikroelektronik wichtige Meßdaten zu gewinnen, die über die traditionelle EKG-Diagnostik weit hinausgehen. Dem Arzt stehen dadurch Daten über Eigenschaften der Gefäße zur Verfügung. Durchblutungsstörungen lassen sich damit sofort erkennen, was für eine wirksame Behandlung große Vorteile bringt.

RFT-BIOMONITOR

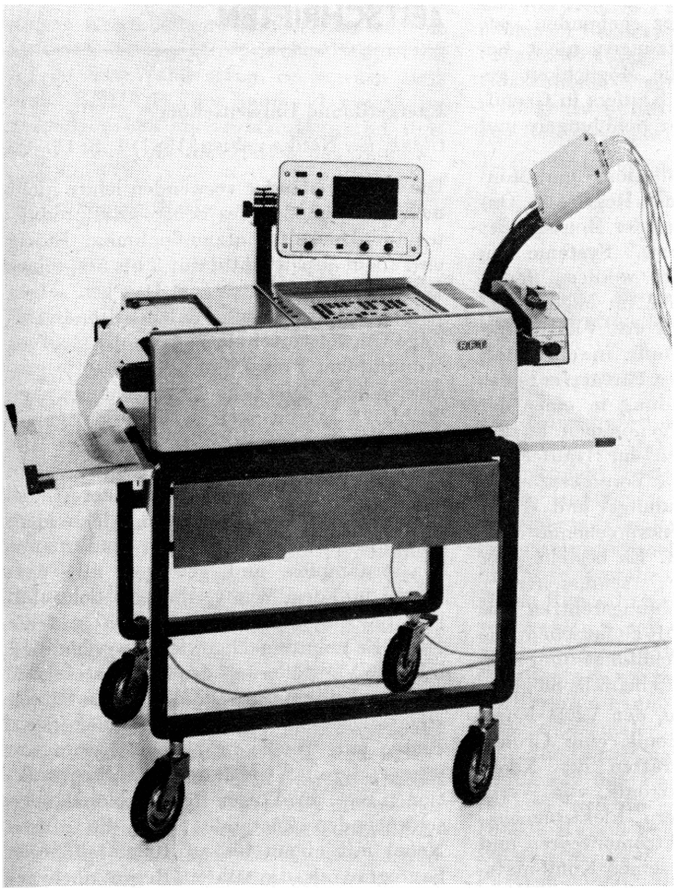
Im Ausstellungskomplex Patientenüberwachung bestimmen Spitzenerzeugnisse des RFT-Biomonitorsystems das Angebot.

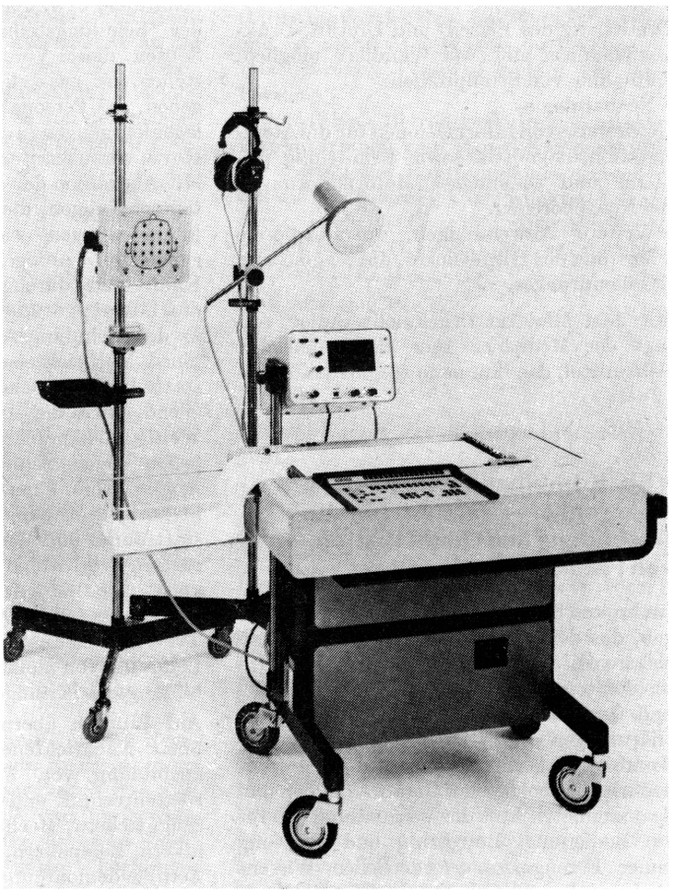
Das System BIOMONITOR II umfaßt eine anwenderorientierte Gerätereihe mit Monitoren, Sensoren, Registrier- und Ergänzungsgeräten sowie einem Plazierungs- und Installationssystem. Es dient zur kontinuierlichen und exakten Überwachung nahezu aller Vitalfunktionen. Sechs Monitorvarianten, die einzeln oder kombiniert am Krankenbett eingesetzt werden können, ermöglichen den multidisziplinären Einsatz in der Herz/Kreislauf-Diagnostik, Neurodiagnostik, Geburtenüberwachung, Intensivtherapie, Urologie und Chirurgie.

Die Gerätefamilie bietet Problemlösungen für die Patientenüberwachung in verschiedenen medizinischen Fachdisziplinen, so für die Fetal- und Neugeborenenüberwachung, die Arrhythmieüberwachung und für spezielle Belange der Intensivtherapie und Anästhesiologie. Die Geräte ermöglichen die kontinuierliche Überwachung der Vitalfunktionen EKG, Herzfrequenz, Arrhythmie, Pulsfrequenz und Pulskurve, Atemfrequenz und Atemkurve, Temperatur, Blutdruck und andere physiologische Drücke. Das gesamte System besteht aus sechs Monitorvarianten, die einzeln oder kombiniert am Patientenbett stehen können. Ein Zentralmonitor ermöglicht die simultane Überwachung von maximal 6 Patienten. Kennzeichnend für das System, das mit neuen, auf dem Einsatz der Mikroelektronik beruhenden technischen Lösungen aufwartet, sind austauschbare Einschübe, Digitalanzeigen, 2-Kanal-Speicheroszilloskop, eine Alarmorganisation, die unterschiedlichen Dringlichkeiten Rechnung trägt, hochisolierte Eingangsschaltungen (floating input), hohe Packungsdichte sowie konsequente Farbcodierung der Meßketten.

Als variables Baukastensystem wird es sowohl universellen Anforderungen als auch speziellen Belangen gerecht. Es bietet große Vorteile für den Service.

Im Bild 2 ist ein Elektroenzephalograph BIOSCRIPT BST 2100 gezeigt.





Elektronische Geburtsüberwachung mit RFT-Fetalmonitor BMT 9141

Eine besondere Gerätevariante des RFT-Biomonitor-Systems ist der Fetalmonitor BMT 9141. Er dient der Überwachung des ungeborenen Kindes im Mutterleib, wobei er eine umfassende und differenzierte Kontrolle fetaler Gefahrenzustände vor und während der Geburt ermöglicht. Mit dem Fetalmonitor kann die fetale Herzfrequenz mit Hilfe des Ultraschall-Doppler-Verfahrens oder durch direkte Elektrokardiographie gemessen und registriert werden. Der Wehendruck kann direkt oder indirekt gemessen werden.
Gegenüber herkömmlichen Geräten ermöglicht der BMT 9141 zusätzlich die Registrierung des fetalen Elektrokardiogramms. Außerdem verfügt er über ein umfangreiches Alarmprogramm. Das eingebaute Alarmsystem warnt z. B. automatisch, wenn eine Gefährdung des Kindes durch Herzfrequenz- und Wehendruckveränderungen erkannt wird.

Dreikanal-Elektrokardiograph „Bioset 3000" (3 NEK 2) mit EKG-Funktionsautomatik

Der Dreikanal-Elektrokardiograph „Bioset 3000" ist ein kleines, transportables Kompaktgerät, das speziell für den Einsatz im EKG-Routinebetrieb in den Institutionen und Einrichtungen des Gesundheitswesens konzipiert wurde. Gleichzeitig ist es mit seinen Austauscheinheiten (Herzschall, Puls-Rheoplethysmographie; Pulsoszillographie) und der Anschlußmöglichkeit spezieller Zusatzgeräte (z. B. Biomonitor-System) für eine umfassende Kreislaufdiagnostik geeignet. Durch mikroelektronisch logikgesteuerte Betriebsfunktionen garantiert das Gerät eine hohe Zuverlässigkeit. Der „Bioset 3000" steht in vier praxisgerechten Varianten — als Elektrokardiograph BOS 3101, als Elektrokardiograph mit Herzschall- und Pulsregistrierteil als BOS 3102, als Elektrokardiograph mit Rheoplethysmographieteil als BOS 3101 und als Elektrokargiograph mit Pulsoszillographieteil BOS 3104 — zur Verfügung. Das Registrieren von Elektrokardiogrammen ist mit allen vier Varianten des BOS 3000 in gleichem Umfang möglich. Es können Ableitungen nach *Einthoven, Goldberger, Wilson, Kerb, Frank*, ein kundenspezifisches Sonderprogramm, ein 1-mV-Experimentierprogramm (x) und die Ableitungsfolge nach *Cabrera* registriert werden. Die Ableitungsgruppen nach *Einthoven, Goldberger, Wilson* sowie das kundenspezifische Sonderprogramm lassen sich sowohl als Einzelprogramm als auch als Automatikprogramm mit vorgegebener Ablaufzeit registrieren. Die Anzahl der automatisch zu registrierenden Ableitungsgruppen ist vom Bedienenden frei programmierbar. Die programmierte Ableitungsfolge läßt sich beliebig oft wiederholen. Für besondere Befunde, wie Arrhythmien und Extrasystolen, ist beim Automatikprogramm durch ständiges Drükken der Starttaste eine beliebige Verlängerung der momentan geschriebenen Ableitungsgruppe möglich.
Alle Exponate zeichnen sich durch den Einsatz der Mikroelektronik aus. Die Integration von Mikrorechnern in die Geräte perfektioniert die ärztliche Befundung und setzt Maßstäbe bei der Hardware- und Software-Optimierung. Die damit verbundene Rationalisierung der Routinearbeiten setzt ärztliches Wissen für den Patienten frei. Sie gibt eine hohe Flexibilität in der Systemausstattung und bei der Projektierung und Montage.

RFT-Miniatur-Druckmeßwandler W 121/122

Wo die Messung hochdynamischer Druckverläufe die Leistungsfähigkeit herkömmlicher externer Übertragungs- und Wandlersysteme übersteigt, dort bewährt sich der Miniatur-Druckmeßwandler W 121/122. Gestützt auf Forschungsergebnisse der Technischen Universität Dresden wurden vom VEB Meßgerätewerk Zwönitz diese zwei neuartigen Tip-Manometer entwickelt. An der Spitze eines Katheters befindet sich ein piezoresistiver Silizium-Chip als Drucksensor, der an den Ort der Druckerzeugung herangeführt wird.
Vorteile des Miniatur-Druckmeßwandlers W 121/122 sind:

- Exakte Auflösung des dynamischen Druckverlaufs, Amplituden- und Phasenfehler sowie Schleuderartefakte, die bei flüssigkeitsgefüllten Wandlersystemen auftreten, sind ausgeschaltet
- störsichere Messung, geringer Hysteresefehler, ausgezeichnete Linearität; die Umwandlung des Meßsignals erfolgt direkt am Ort der Druckerzeugung
- hohe Eigenfrequenz des Meßsystems; die Feinheiten der Druckdynamik werden wirklichkeitsgetreu wiedergegeben
- höhere Ausgangsspannung als bei externen Druckmeßwandlern; das günstigere Verhältnis zwischen Nutz- und Störsignal ermöglicht die diagnostische Auswertung der Feinstruktur der Aufzeichnungen.

Einsatzgebiete für den neuen Wandler:
• Kardiologie
Diagnostizierung von Klappenstenozen, der pulmonalen Hypertonie und der Beurteilung des Myocards sowie besonders geeignet für die Rechtsherz-Druckmessung.

• Urologie
Ermittlung des Blasen- und Urethra-Druckes simultan mit zwei Wandlern möglich, Aufnahme von Streßprofilen.
• Neanatologie
Gewinnung von Informationen für die Atemfunktionsdiagnostik sowie Ermittlung primärer und sekundärer Motorikstörungen bei Neugeborenen.
• Weitere Anwendungen, Intrakorporale Messung des Hirndruckes, des Magen- und Gallendruckes.

Mit dem Miniatur-Druckmeßwandler verfügt der Mediziner über ein technisches Hilfsmittel, das ihm neue Möglichkeiten eröffnet.

H. Mittank, Leipzig EA 2725

VEB Kombinat Nachrichtenelektronik — Partner für die Ausbildung und Qualifikation von Fachkräften

Im breiten Spektrum immaterieller Leistungen, das der VEB Kombinat Nachrichtenelektronik ausländischen Kunden und Interessenten anbietet, nimmt die Ausbildung und Qualifizierung von Fachkräften einen erstrangigen Platz ein. Der Grund: Das Kombinat als Produzent und Exporteur nachrichtentechnischer Geräte, Anlagen und Systeme betrachtet die Vermittlung des für die Bedienung, Betreuung und Wartung seiner Erzeugnisse erforderlichen Wissens als besondere Verpflichtung. Es will damit die aus Effektivitätsgründen notwendige ständige Funktions- und Einsatzbereitschaft der nachrichtentechnischen Ausrüstungen ebenso gewährleisten wie die optimale Nutzung ihrer technischen Parameter. Zu diesem Zweck bereitet es das Montage- und Betriebspersonal des Kunden durch Schulungen auf den Einsatz der RFT-Nachrichtentechnik vor. Die Schulungen werden in Abhängigkeit vom Projekt und den Forderungen der Nutzer in Form von

— Grundlagenlehrgängen technisch-physikalischen Inhalts mit den Themen: Angewandte Mathematik, Elektrotechnik, Elektronik, Digitaltechnik, Vermittlungs- und Übertragungstechnik sowie Meßtechnik
— Lehrgängen für Systemplanung und -projektierung mit Kenntnisvermittlung auf den Gebieten des Netzmanagements und der Netzwartungstheorie
— Lehrgängen für das Installations- und Montagepersonal der Nutzer
— Lehrgängen für das Bedien- und Wartungspersonal, in denen Fertigkeiten zum störungsfreien Betreiben und Erhalten der nachrichtentechnischen Anlagen vermittelt werden
— Lehrgängen für Servicetechniker, die befähigt werden, Reparaturen defekter Geräte oder Baugruppen am Einsatzort oder in speziellen Servicewerkstätten auszuführen
— beruflichen Weiterbildungskursen auf verschiedenen Gebieten der Nachrichtentechnik

durchgeführt. Die vom VEB Kombinat Nachrichtenelektronik angebotenen Schulungen und Lehrgänge garantieren eine umfassende Wissensvermittlung, die jedoch an bestimmte fachliche Voraussetzungen (Vorkenntnisse bzw. berufliche Qualifikationen) der Schulungsteilnehmer gebunden ist. Sollten diese Voraussetzungen nicht bestehen, ist zusätzlich die Möglichkeit gegeben, das Personal des Käufers in Grundlagenlehrgängen auf die Schulungen und Kurse vorzubereiten.

Mit Ausnahme der Installations- und Montageschulungen, die in der Regel als „On-job-Schulungen" während der Montage der gelieferten Anlagen bzw. Systeme im Käuferland durchgeführt werden, finden die Lehrgänge und Kurse im allgemeinen in den Schulungszentren des VEB Kombinat Nachrichtenelektronik in der DDR statt. Den Wünschen der Partner entsprechend, wird die Ausbildung in einer der Welthandelssprachen vorgenommen. Es sind jedoch auch Schulungen im Käuferland möglich, sofern hierfür die Voraussetzungen in Form geeigneter Schulungs- und Werkstatträume und deren entsprechende Ausrüstung vorhanden sind. Es besteht aber auch die Möglichkeit, schlüsselfertige Schulungs- und Ausbildungszentren als Typenbauten aus der DDR zu beziehen. Die Lieferung von mobilen Schulungs- und Ausbildungseinrichtungen ist ebenfalls möglich.

Auf Wunsch übernimmt der VEB Kombinat Nachrichtenelektronik eine Grundausbildung von Fachkräften der Nachrichtentechnik und Elektronik, von Werkzeugmachern, Mechanikern, Elektromechanikern, Zerspanern, Elektromonteuren und Fernmeldemonteuren in seinen Kombinatsbetrieben. Zusätzlich zur fachspezifischen Ausbildung kann die Hochschulreife erworben werden. Die Grundausbildung enthält einen theoretischen und einen praktischen Teil, in denen sowohl Kenntnisse der mechanischen Metallbearbeitung als auch Grundfertigkeiten der Elektrotechnik/Elektronik vermittelt werden. In der anschließenden Spezialisierung zum Nachrichtentechniker, Elektroniker, Elektromechaniker, Elektromonteur und Fernmeldemonteur lernen die Auszubildenden selbständig Baugruppen, Geräte bzw. Anlagen der Nachrichtentechnik und Elektrotechnik nach Unterweisung und technischen Zeichnungen herzustellen und dabei mit moderner Werkzeugmaschinentechnik umzugehen. Die Ausbildung der künftigen Zerspaner ist darauf gerichtet, daß sie selbständig auch komplizierte Teile auf modernen Dreh-, Fräs-, Bohr- und Schleifmaschinen nach Unterweisung und technischen Zeichnungen herstellen können.

Die Unterbringung der Auszubildenden erfolgt in modernen Wohnheimen. Dort bestehen vielfältige Möglichkeiten einer sinnvollen und individuellen Freizeitgestaltung.

Im Anschluß an die Grundausbildung ist eine weitere fachliche Qualifikation möglich, so zum Meister, Techniker und Ingenieur. Darüber hinaus ermöglicht das Kombinat eine Hochschulausbildung in der DDR mit Abschluß als Diplom-Ingenieur oder Doktor-Ingenieur.

Nach erfolgreichem Abschluß der Ausbildungsprogramme erhalten die Absolventen ein von der zuständigen Institution der Deutschen Demokratischen Republik ausgefertigtes offizielles Zertifikat, beim Besuch von Fach- und Hochschulen oder Universitäten eine staatliche akademische Graduierung.

H. Mittank, Leipzig EA 2726

ZEITSCHRIFTEN

Energetik und Umweltschutz

Oldak, P.: Nauka i shisn (1987) 1, S. 15—23

Die Industrieländer verwenden heute nicht mehr als 1 bis 2% des Bruttosozialproduktes für Umweltschutzmaßnahmen. Einzig und allein Japan gibt dafür 3 bis 5% seines Bruttosozialproduktes aus. Dagegen zeigen jedoch Untersuchungen, daß der Schaden infolge Umweltverschmutzung in der Größenordnung von 3 bis 5% des Bruttosozialproduktes liegt. Hierin sind Spätschäden nach 20 bis 25 Jahren noch nicht einmal eingerechnet.

Die fossilen Wärmekraftwerke zählen zu den Hauptumweltverschmutzern der Atmosphäre mit Schwefeldioxid und Stickoxiden. Diese Stoffe verbinden sich in der Luft mit Wasserdämpfen und gelangen mit dem Regen in Form von verdünnter Schwefel- und Salpetersäure (saurer Regen) auf die Erde. Es konnte nachgewiesen werden, daß mit der Vergrößerung der Schornsteinhöhe der Umwandlungsgrad in die beiden Säuren steigt. Der saure Regen verwandelt Seen, Flüsse und Teiche in biologisch tote Gewässer, greift Gebäude, Stahlkonstruktionen usw. an. Wegen ihres stundenlangen schwebenden Zustandes sind die sauren Nebel mit einem bis zu 100mal höheren Säuregrad als die sauren Regen noch gefährlicher.

Der Schwefeldioxidauswurf betrug 1950 12 Millionen Tonnen, 1980 waren es schon 150 Millionen Tonnen. Im Jahre 1985 wurde daraufhin auf einer Konferenz in Helsinki der europäischen Länder, der USA und Kanada beschlossen, den Schwefeldioxidauswurf um 30% (zum Niveau 1980 bis 1993) zu senken. Diesen Beschluß unterschrieben 21 Staaten. Die USA und Großbritannien unterzeichneten ihn u.a. nicht. Schweden senkte in den letzten Jahren den Schwefeldioxidauswurf um mehr als 40%.

Ein weiteres Problem stellt die weltweite Zunahme des Kohlendioxidanteils und entsprechende Abnahme des Sauerstoffs in der Atmosphäre infolge von Verbrennungsprozessen dar. 1860 wurden 1,3 Milliarden Tonnen Sauerstoff verbrannt, 1960 12 Milliarden und im Jahre 2000 werden es voraussichtlich 57 Milliarden Tonnen sein. Schon heute wird eine merkliche Abnahme des Sauerstoffgehaltes der Stadtluft (unter 20%) gemessen. Auch verringerte sich der Sauerstoffanteil der gesamten Erdatmosphäre von 20,948% auf 20,5 bis 20,8%. Gleichzeitig wuchs der jährliche Kohlenstoffauswurf in die Luft von 100 Millionen Tonnen 1860 auf 5,3 Milliarden Tonnen 1980, und die Kohlendioxidkonzentration bezogen auf 1 Mio. Luftteilchen von 315 im Jahre 1958 auf 340 im Jahre 1982 und Mitte des nächsten Jahrhunderts voraussichtlich auf 600. Infolge des dadurch hervorgerufenen Treibhauseffekts wird sich die Temperatur um 1,5 bis 3 °C, nach anderen Einschätzungen 2 bis 5 °C, erhöhen. Das führt zum nichtumkehrbaren Abtauen der Pole und damit zur Erhöhung des Meeresspiegels. Nach Meinung der Experten kann man schon in den 90er Jahren mit Festlegungen von Grenzwerten für den jährlichen Kohlendioxidauswurf eines jeden Landes rechnen.

Die durch die Umweltverschmutzung bedingte Krankheitsprozesse breiten sich oft lawinenartig aus. Ein typisches Beispiel dafür ist das Waldsterben. So wurden 1982 in der BRD 7,7 % der Bäume als geschädigt gemeldet, 1983 aber schon 34 % und 1984 schon mehr als die Hälfte des Baumbestandes.

E. Broßmann, Berlin EA 2508

Isolationsdiagnostik von Generatoren über die Aerosolmenge

Kulakovski, V. B.; u.a. Elektrieceskie stancii (1986) 12, S. 44—47

Die Generatorstöranalyse bestätigt, daß Anzeichen für Beschädigungen öfters schon Monate vor dem Störeintritt auftreten. Zur Früherkennung von Überhitzungen organischer Materialien im Generator (Wicklungsisolation, Beschichtungen der Eisenblechpakete usw.) wurde in der Sowjetunion eine Kontrolleinrichtung mit Ionisationskammer entwickelt.

Diese Kontrolleinrichtung überprüft ununterbrochen den geschlossenen Wasserstoffgas-Kühlkreislauf des Generators auf seinen Aerosolgehalt. Aerosole sind feinstverteilte Teilchen in einem Gas, die u.a. bei der Hitzezersetzung (Pyrolyse) chemischer Verbindungen entstehen. Die Aerosolkonzentration im Generatorvolumen hängt hauptsächlich von der Temperatur an der Heißstelle, von der erhitzten Fläche und der Kühlgeschwindigkeit ab.

In der sowjetischen Diagnoseanlage werden das Wasserstoffgas und die darin enthaltenen Aerosole zuerst mit einer radioaktiven Strahlenquelle in einer Ionisationskammer elektrisch aufgeladen bzw. ionisiert. Durch das elektrische Feld der ersten Kammer werden die Gasionen an die Elektroden gezogen, aber die schwereren Aerosole gelangen weiter in die zweite Kammer und setzen sich erst dort an den Elektroden ab. Der Elektrodenspeisestrom ist in der zweiten Kammer der Aerosolanzahl je Zeiteinheit proportional, und damit kann bei konstanter Durchströmgeschwindigkeit über ihn die Aerosolkonzentration ermittelt werden. Die Ionisationskammer reagiert hauptsächlich auf Aerosole einer Größe von 0,1 bis 0,01 µm.

An Hand von Versuchen in einem Turbogenerator TWW-320-2 konnte ermittelt werden, daß eine Erwärmungsfläche der Isolation von 4 cm² für das Ansprechen der Diagnoseeinrichtung ausreichend ist, der Aerosolausstoß bei Temperaturen ab 200 °C beginnt und bei 300 bis 350 °C sein Maximum erreicht.

Der Probebetrieb einer solchen Kontrolleinrichtung seit 1981 an einem Turbogenerator TWW-320-2 ergab, daß starke Gasdruckänderungen (Zuführung von Wasserstoff), Temperatur- (Lastsprünge) und kurzzeitiges Auftreten von Wasser- und Öldämpfen ebenfalls Stromstöße in der Kontrolleinrichtung hervorrufen können. Zur Zeit befinden sich vier Diagnoseanlagen (zwei 320- und zwei 800-MW-Turbogeneratoren) in Betrieb. Unabhängig von der großen Aerosolabsorbtion im Generator kann praktisch die Pyrolyse von nur einigen Milligramm Isolationsmaterial auf der Oberfläche registriert werden.

Die notwendige Früherkennung von Heißstellen in Generatoren, insbesondere an der Ständerwicklung, kann von einer Ionisationskammer-Diagnoseeinrichtung erfolgreich gelöst werden, wie es von den bisherigen Betriebserfahrungen bestätigt wird.

E. Broßmann, Berlin EA 2507

Erfolgreiche Betriebserfahrungen mit dem Gezeitenkraftwerk Rance

Bernschtein, L B : Energochosjaistvo sa rubeshom (1987) 2, S. 29—32

Der Höhenunterschied der Gezeiten in der Bucht von St. Malo an der Rance-Mündung (Frankreich) beträgt 3 bis 13,5 m. Der Damm ist 800 m lang und bildet ein Becken mit einer maximalen Fläche von 22 km². Um einen ununterbrochenen Betrieb der Turbinen zu gewährleisten, waren schon im ersten Rance-Projekt von 1890 zwei Becken vorgesehen, womit aber auch die Pulsierung der Leistung und der monatliche Abfall der Gezeitenhöhe um zwei Drittel nicht kompensiert werden kann.

Zwecks optimaler Teilnahme an der Regelung der Tagesganglinie des Energiesystems wurde für das Rance-Kraftwerk die Ein-Becken-Variante gewählt und horizontale 10-MW-Kapsel-Turbosätze mit sechs Funktionen (in zwei Richtungen Turbinen-, Pumpen- und Durchgangsbetrieb) entwickelt.

Im Februar 1961 begann der Bau. Es wurde auf einer Länge von 360 m 19 hohle Stahlbetonkolonnen eingeschwommen. Der schwierigste Moment trat am 25. Mai 1963 ein, als die letzten sieben Verbindungsdämme zwischen den Kolonnen eingebracht werden sollten. Die errichteten Verbindungsdämme deformierten sich, und es begann die Unterspülung der Kolonnen. Diese Situation konnte nur mit größten Anstrengungen beherrscht werden. Die Kosten für die Errichtung der Verbindungen lagen in der Größenordnung von einem Drittel der Baukosten. Der englische Experte Prof. *Wilson* erklärte dazu, daß die von den sowjetischen Ingenieuren erstmals im Gezeitenkraftwerk Kisloguba praktizierte komplexe Einschwimmethode den Bau von zukünftigen Gezeitenkraftwerken von den außergewöhnlichen Schwierigkeiten befreit, die das Rance-Objekt fast platzen ließen. 1967 ging der letzte der 24 Turbosätze in Betrieb.

Im Januar 1975 trat ein Generatorbrand wegen Reibung von Ständer und Läufer auf. Die Kontrolle aller Generatoren ergab eine Verringerung des Luftspaltes. Das wurde durch die hohen mechanischen Belastungen infolge der vielen Starts (bis zu vier täglich) verursacht. Es lockerten sich u.a. die Befestigungen vom Eisenblechpaket des Ständers. Die Generalreparatur aller Generatoren wurde 1983 abgeschlossen.

Tiefgründige Untersuchungen unter Berücksichtigung der Höhe des Meeresspiegels und der Veränderung der Energiepreise im Laufe des Tages ergaben, daß das direkte Turbinenregime (57 % der Zeit) und das Pumpregime (18 %) am effektivsten sind. Die Regime in Rückrichtung wurden für Turbinen begrenzt (5 % der Zeit) und für Pumpen überhaupt abgesetzt. Die Energie des Rance-Kraftwerkes kostet nur die Hälfte im Vergleich zu den Flußkraftwerken und ist nicht vom Wasserstand abhängig. Das operative Personal besteht aus einer Person.

Die positiven Betriebserfahrungen mit den Kapselturbinen vom Rance-Kraftwerk und die sowjetische Bautechnologie ermöglichten die Realisierung von Projekten für moderne, effektive Gezeitenkraftwerke in der Bay of Fundy (Kanada), Severn- und Mersey-Bucht (England).

E. Broßmann, Berlin EA 2565

Zuverlässigkeit der Elektroenergieübertragung

Muraschko, N. V.; Grisenko, G. P.: Energochosjaistvo sa rubeshom (1987) 2, S. 26 bis 29

In den führenden Industrieländern verhalten sich die Investitionskosten für die Erzeugung, Übertragung und Verteilung der Elektroenergie wie 50 : 15 : 35 %. Wenn der Anteil für die Übertragung zwar der kleinste ist, werden dort jedoch sehr strenge Anforderungen an die Zuverlässigkeit gestellt. Unter einer optimalen Zuverlässigkeit wird heute verstanden, daß die Investitionen zur Erhöhung der Zuverlässigkeit zumindest den Verlustminderungen infolge von Versorgungsausfällen entsprechen.

In den betrachteten Ländern Schweden, Kanada und Finnland sowie in anderen Ländern wird die Systemausbauplanung nach der Konzeption „der Kosten für die minimale Lebensdauer" durchgeführt, wobei nicht nur die Investitionskosten, sondern auch die Betriebskosten, die Reparatur- und die Versorgungsausfallkosten Berücksichtigung finden.

Die statistischen Auswertungen ergaben, daß Versorgungsausfälle hauptsächlich infolge von Fehlern in den Verteilungsnetzen 10 bis 130 kV und weniger in den 220- bis 400-kV-Netzen auftreten. Leitungsstörungen durch Gewittereinwirkungen verursachen den Großteil der Versorgungsunterbrechungen. Wenn beispielsweise die Gewittersaison in Schweden nur etwa zwei Monate dauert, werden 51 % der Störungen im gesamten Netz von Blitzen verursacht.

In der kanadischen Statistik fällt die hohe Zuverlässigkeit der ölarmen Schalter im Vergleich mit anderen Leistungsschaltern auf. Diese Feststellung wird auch von der Firma ASEA bestätigt. Nach Meinung von ASEA treten viele Versager von Öl- und Druckluftschaltern auch wegen zu langer Betriebszeiten auf.

E. Broßmann, Berlin EA 2566

BÜCHER

Large Power Transformers

Von *K. Karsai; D. Kerényi; L. Kiss.* Budapest: Akademiai Kiado 1987. 615 Seiten

Aus Anlaß der wissenschaftlich-technischen Tagung „100 Jahre Transformatorenbau" 1985 in Budapest und damit zur Würdigung einer 100jährigen weltweiten Ingenieurarbeit bei der Entwicklung des Transformators entschlossen sich die Autoren zu einer erweiterten englischen Ausgabe des vor mehr als 10 Jahren erschienenen Buches „Nagytranszformatorok". Standen damals vor allem Fragen der Einführung neuer Magnet- und Isoliermaterialien sowie des Übergangs zu höheren Spannungen und Leistungen im Vordergrund der Betrachtungen, so konzentrieren sich die Erweiterungen der vorliegenden Ausgabe auf Probleme der vom Streufeld verursachten Zusatzverluste, auf Resonanzerscheinungen und auf Fragen der konstruktiven Gestaltung großer Leistungstransformatoren.

Abschnitt 1: Wirkungsweise (*Karsai;* 14 Seiten)
Nach einem historischen Abriß der Entwicklung des Transformators wird die prinzipielle Wirkungsweise sowie die Anwendung von Zeigerbild und Ersatzschaltung zur Nachbildung der Wirkungsweise dargelegt ohne näher auf das Betriebsverhalten einzugehen.

Abschnitt 2: Kern (*Karsai;* 52 Seiten)
Einer kurzen Darlegung zur Entwicklung der Transformatorbleche, angefangen vom warmgewalzten Blech mit Papierisolation bis hin zum Texturblech mit Carlite-Isolation, schließen sich Ausführungen zur Kerngestaltung, Verlustberechnung, zu Geräuschen und zum Einschaltstromstoß an. Ausführlich werden verlusterhöhende technologische und konstruktive Einflüsse beschrieben und größenmäßig abgeschätzt.

Abschnitt 3: Wicklung (*Karsai;* 65 Seiten)
Ausgehend von der Kurzschlußspannung gibt der Autor Bestimmungsgleichungen für den Wirk- und Streuspannungsabfall bzw. die Streureaktanz verschiedener Zweiwicklungsanordnungen und die Umrechnung auf eine Dreiwicklungsanordnung an. Es folgen die Bestimmung des Stromverdrängungsfaktors, die Beschreibung der Schaltgruppen und die Behandlung des Parallelbetriebs zweier Transformatoren. Nach der Erläuterung verschiedener Wicklungsarten werden abschließend die Erscheinungen des Dauer- und Stoßkurzschlusses behandelt. Neben der klassischen Berechnung der Kurzschlußkräfte wird auch eine rechnergestützte detaillierte Berechnung vorgestellt. Den Abschluß bilden Bemerkungen zum Kurzschlußversuch.

Abschnitt 4: Zusatzverluste in inaktiven Teilen (*Kerényi;* 41 Seiten)
Ausgehend von einer Analyse möglicher Heißpunkte in inaktiven Bauteilen werden analytische Methoden zur näherungsweisen Berechnung der Verluste in massiven Platten (2D), in der Kesselwand (2D und 3D), in Kernpreßplatten (2D) angegeben, mit Beispielrechnungen untersetzt und zum Teil mit Meßwerten verglichen. Dem Autor kommt es dabei auf die Darlegung von Möglichkeiten zur schnellen ingenieurmäßigen Überprüfung kritischer Stellen an, deshalb werden die treffsicheren aber auch aufwendigeren numerischen Verfahren nicht behandelt. Daran anschließende Ausführungen betreffen den Einsatz magnetischer und elektromagnetischer Schirme zur Verlustabsenkung, Kriterien zur Verwendung unmagnetischen Stahls sowie Möglichkeiten zur Heißpunktmessung.

Abschnitt 5: Isolation (*Kerényi:* 164 Seiten)
Die Isolation des Transformators wird in dreierlei Hinsicht behandelt: Spannungsbeanspruchung, Materialeigenschaften, Prüfung. Zur Spannungsbeanspruchung werden Nennspannungen bis 750 kV betrachtet, die Verhältnisse an den Klemmen sowie die innere Spannungsverteilung, das stationäre und nichtstationäre Verhalten beschrieben und durch Ersatzschaltungen sowie Formeln für die Ingenieurarbeit aufbereitet. Einem kurzen Überblick zu Isolationsmaterialien, die im Transformator Verwendung finden, folgen eingehendere Ausführungen zum Öl, Papier und Preßboard sowie zur prinzipiellen Gestaltung und Dimensionierung der Windungs-, Lagen-, Haupt- und Endisolation, der Durchführungen und äußeren Isolation. Im Zusammenhang mit der Isolationsprüfung gibt der Autor Schaltungen und Bedingungen für die Blitz-, Schalt- und Wechselspannungsprüfung an.

Abschnitt 6: Erwärmung und Kühlung (*Kiss;* 185 Seiten)
Einleitend werden der Erwärmungs- und Abkühlungsvorgang, Kühlungsarten, die Temperaturverteilung über der Wicklung und im Öl, die Kurzschluß- und Dauerbelastbarkeit des Transformators beschrieben und mit Rechenbeispielen untersetzt. Daran schließen sich sehr ausführliche Darlegungen zur Erwärmungsberechnung der Wicklung bei natürlicher und forcierter Ölkühlung an.

Weitere Ausführungen betreffen die Radiatorkühlung und den Einsatz kompakter Wärmetauscher. Der Autor behandelt, ergänzt durch praktisch relevante Rechenbeispiele, die erreichbaren Kühlleistungen sowie die thermische und hydraulische Auslegung der Kühler.

Abschnitt 7: Konstruktion (*Kiss;* 66 Seiten)
In sehr anschaulicher Weise, über 50 Übersichts- und Detaildarstellungen, werden die konstruktive Gestaltung der Wicklung, der Durchführungen, Kühleinrichtung und aller inaktiven Bauteile dargestellt. Die für die Preßkonstruktionen angegebenen Berechnungsformeln gestatten eine ingenieurmäßige Bestimmung auftretender Kräfte, Drehmomente sowie erforderlicher Materialquerschnitte. Abschließende Ausführungen betreffen Möglichkeiten und Gesichtspunkte zur Absenkung des Geräuschpegels.

Das Buch ist sowohl für den Hersteller als auch für den Betreiber von Leistungstransformatoren eine wertvolle Übersichtsdarstellung zum physikalischen und konstruktiven Verständnis vieler bisher gelöster aber auch gegenwärtig zu lösender Fragen. In seiner anschaulichen, reich bebilderten Darstellung erlaubt es eine schnelle Einarbeitung in die Spezifik der Leistungstransformatoren und stellt auf Grund der zahlreichen Formeln, Tabellen, Diagramme und Berechnungsbeispiele ein sehr gutes Arbeitsmittel für den auf dem Gebiet von Großtransformatoren tätigen Ingenieur dar.

D. Roseburg, Dresden EA 2716

Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS für Praktiker

Von *D. Benda.* Sindelfingen: expert verlag; Stuttgart: Frech Verlag 1986 113 Seiten, 59 Bilder, Übungen und Lösungen

Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS), zunächst nur dafür vorgesehen, Relais- und Schützsteuerungen im mittleren Leistungsbereich durch zuverlässigere, flexiblere und dadurch insgesamt kostengünstigere Elektronik abzulösen, haben seit ihrer Innovation Ende der 60er Jahre eine außerordentlich rasche Weiterentwicklung und Verbreitung erfahren. Heute beherrschen sie in Form von Kleinststeuerungen in schützähnlicher Eingehäuse-Kompaktausführung für wenige binäre Ein- und Ausgänge bis hin zu modularen dezentral strukturierbaren Systemen zur Steuerung und Überwachung ganzer Industrieanlagen praktisch den Gesamtbereich der industriellen Automatisierung.
Das vorliegende Buch soll einen breiten Leserkreis im Sinne einer Einführung in diese hocheffektive Technik informieren.
Im einzelnen werden nach einer kurzen Erläuterung des Begriffs „speicherprogrammierbare Steuerung" der Aufbau und die prinzipielle Arbeitsweise einer SPS in knapper Form beschrieben. Anschließend wird das duale Zahlensystem erläutert, die technische Darstellung binärer Signale veranschaulicht und anhand des ASCII-Kodes die binärkodierte Repräsentation von Ziffern, Buchstaben mit Sonderzeichen verdeutlicht. Es folgen sodann einige Bemerkungen zur Programmierung, Inbetriebnahme und zur Programmabarbeitung in einer SPS. Dann werden die logischen Elementarglieder einschließlich Zeit- und Impulsgeber bezüglich ihrer Funktion beschrieben und im darauffolgenden Abschnitt die Grundlagen der Programmierung einer SPS erläutert, d.h., die Struktur von Steueranweisungen erklärt und an einer Reihe elementarer Beispiele die Programmerstellung mit einer Anweisungsliste gezeigt. Fünf sehr einfache, jedoch praktisch konkrete Beispiele ergänzen die Erläuterungen zur Programmierung.
In einem Anhang findet der Leser die Symbolmenge des ASCII-Kodes, die standardisierten Sinnbilder für Programmablaufpläne sowie die Lösungen zu den in den einzelnen Abschnitten eingestreuten Übungsaufgaben.
Das Studium des Buches setzt lediglich elementare elektrotechnische Grundkenntnisse voraus. Es ist für Berufsschüler, Facharbeiter, Projektanten und Techniker geeignet, die sich Grundkenntnisse auf dem Gebiet der SPS-Technik aneignen wollen.

E. Habiger, Dresden EA 2670

Documentation

Frank, H.; Spiegelberg, J.

A.C. Voltage Analysis 3 MV/12,6 MVA – a Contribution to the Extra-High Voltage Power Transmission

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 4, pp. 125–127, 4 Figs., 2 Tables, 3 Refs.

A new standard series of a.c. voltage test units was developed, adapted to fundamental research works about three-phase extrahigh voltage power transmission. That series comprises several new solutions and has about the fivefold capacity, compared with the greatest units of that type, hitherto known. The maximum variant can be used to developing systems of transmission voltages of 1800 kV and upward.

Dietrich, M.; Rausendorf, S.

Designing the Electrodes of the 3 MV A.C. Voltage Test Unit

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 4, pp. 127–130, 8 Figs., 2 Equations, 8 Refs.

Starting from the criteria of dimensioning high-voltage electrodes an electrode system of governing 3 MV a.c. voltage-effective is optimized by means of the numeric field computation with considering a multinumber of constructive conditions. A 3 electrodes system was determined, consisting of main electrode as well as upper and lower control electrodes; the maximum field strength of which is about 2,5 kV/cm lower than in the 2,25 MV a.c. voltage test unit.

Schrader, W.; Coors, P.

Switching Voltage Addition to the 3 MV A.C. Voltage Test Unit

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 4, pp. 131–133, 5 Figs., 2 Tables

With the newly developed switching voltage addition of a 3 MV a.c. voltage test cascade symmetrically oscillating test switching voltages up to 3,9 MV may be generated. Especially, through the direct installation of the switching voltage addition in the a.c. voltage test unit, the application of thyristor high-current holding, and charging the energy store to a potential, which is higher than that of the a.c. voltage test cascade itself, besides increasing the reliability operating is simplified essentially.

Hauschild, W.; Speck, J.; Bachmann, H.; Baronick, M.

Hardware and Software to Computer Aided High-Voltage Test Units with A.C. and D.C. Voltages

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 4, pp. 133–136, 8 Figs., 14 Refs.

Starting from the requirements to high-voltage tests both hardware and software of microcomputer control of a.c. and d.c. voltages test units are described. The user makes preparation, accomplishment and evaluation of the test by dialogue operation with the computer. Existing first operating experiences allow the conclusion, that the computer aided high-voltage tests will find a wide application.

Pilling, J.; Lemke, E.

To Dimensioning the Primary Lightning Protection of Transformer Stations on Base of the Streamer-Leader-Model of Long Air Sparking Gaps

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 4, pp. 136–138, 4 Figs., 7 Equations, 5 Refs.

Lightning deflectors for transformer stations are dimensioned by the lightning sphere method. Considering in a double sphere method the different range of collecting discharges at deflectors and stranded conductors is proposed.

Hauschild, W.; Wolf, J.; Schwarz, J.

Testing at Locus an SF_6-Insulated Switching Unit with Oscillating Lightning Voltage

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 4, pp. 138–141, 7 Figs., 2 Equations, 17 Refs.

Hitherto SF_6-insulated switching units were tested by a.c. voltages after installation, additioned by a partial discharge measurement of a high sensitivity. To detecting stationary lattice distortions firstly a testing at locus with oscillating lightning voltage was unique and advantageous. The philosophy, problems, and accomplishment of that test are dealt with.

Rau, R. S. N.

Anode Processes in Vacuum Arcs

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 4, pp. 142–143, 2 Figs., 2 Equations, 10 Refs.

Contrary to cathode processes hitherto anode ones were considered not much. After developing the vacuum switcher and together with the requirement of interrupting more and more increasing currents it was stated, that thereby the anode takes a deciding part, whether a circuit is switched off or not. By means of experimental investigations the anode processes during high currents are discussed.

Großmann, S.; Böhme, H.; Löbl, H.

To the Long-Time Behaviour of Plug Connections of the Electric Energy Techniques – Resistance Curve

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 4, pp. 143–148, 11 Figs., 1 Table, 7 Equations, 5 Refs.

Plug connections age, depending of the contact material, of the construction, and of environmental and operating conditions. The long-time behaviour of the resistance of connections of galvanically silver-plated contact pieces and copper contact ones, not silver-plated, and the current distribution to parallel contact pieces are discussed by means of the results of experimental investigations, made for several years. The test results are generalized, depending of the loading temperature, by using the chemical reaction kinetics.

Документация

Франк, Х.; Шпигельберг, Й.

Испытательный анализ переменным напряжением 3 МВ/12,6МВА – вклад в сверхвысоковольтную передачу электроэнергии

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 4, стр. 125–127, 4 рис., 2 табл., 3 лит.

Для проведения основных исследований в области трехфазной высоковольтной передачи энергии разработан новый типовой ряд испытательных установок переменного напряжения с повышенной в ок. 5 раз по сравнению с наибольшими существующими установками такого рода мощностью и с применением многочисленных новых решений. Максимальный вариант может применяться в целях разработки систем с напряжениями передачи 1800 кВ и выше.

Дитрих, М.; Раузендорф, З.

Оформление электродов испытательной установки переменного напряжения 3 МВ

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 4, стр. 127–130, 8 рис., 2 уравн., 8 лит.

Исходя из критериев расчета высоковольтных электродов, с высокой эффективностью оптимизируется система электродов для освоения переменного напряжения 3 МВ с помощью численного расчета поля и при учете множества конструктивных условий. Определена трех-электродная система, состоящая из основного, а также из верхнего и нижнего управляющих электродов, наибольшая напряженность поля которой на 2,5 кВ/см ниже чем у испытательной установки переменного напряжения 2,25 МВ.

Шрадер, В.; Коорс, П.

Приставка коммутации напряжений для испытательной установки переменного напряжения 3 МВ

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 4, стр. 131–133, 5 рис., 2 табл.

При помощи разработанной приставки коммутации напряжений для испытательного каскада переменного напряжения могут генерироваться симметрично колеблющиеся испытательные напряжения до 3,9 МВ. Особенно за счет встройки приставки коммутации напряжений непосредственно в испытательную установку переменного напряжения, применения тиристорных сильноточных стабилизаторов и заряда до требуемого потенциала накопителей энергии самым испытательным каскадом переменного напряжения, помимо повышения надежности достигается существенное упрощение режима эксплуатации.

Хаушильд, В.; Шпек, Й.; Бахман, Х.; Бароник, М.

Аппаратное и программное обеспечение для управляемых от ЭВМ высоковольтных испытательных установок на переменном и постоянном напряжениях

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 4, стр. 133–136, 8 рис., 14 лит.

Исходя из требований, предъявляемых к высоковольтным испытаниям, дается описание аппаратного и программного обеспечения микропроцессорного устройства управления для испытательных установок на переменном и постоянном напряжениях. Подготовка, проведение и анализ испытания осуществляются пользователем в диалоговом режиме с ЭВМ. Имеющийся первый эксплуатационный опыт позволяет заключение о том, что автоматизированные посредством ЭВМ высоковольтные испытания найдут широкое применение.

Пиллинг, Й.; Лемке, Э.

О расчете первичной защиты от молниевых разрядов трансформаторных подстанций на основе стример-лидерной модели длинных воздушных искровых промежутков

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 4, стр. 136–138, 4 рис., 7 уравн., 5 лит.

Приемники молниеотводов для трансформаторных подстанций расчитываются по методу сферической молнии. Предлагается учитывать различные дальности действия встречных разрядов на стержневых электродах и на фазовых проводах применением метода двойной сферы.

Хаушильд, В.; Вольф, Й.; Шварц, Й.

Испытание на месте монтажа распределительной установки с элегазовой изоляцией посредством колеблющегося ударного напряжения

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 4, стр. 138–141, 7 рис., 2 уравн., 17 лит.

До сих пор распределительные установки с элегазовой изоляцией после их монтажа были подвергнуты испытанию переменным напряжением, дополненному высокочувствительным измерением частичных разрядов. Для определения стационарных мест неисправностей впервые проведено испытание колеблющимся ударным напряжением на месте монтажа, которое по своим результатам оказалось однозначным и крайне выгодным. Рассматриваются философия, проблемы и порядок проведения указанного испытания.

Рау, Р. С. Н.

Анодные процессы во вакуумной электрической дуге

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 4, стр. 142 и 143, 2 рис., 2 уравн., 10 лит.

В отличие от катодных процессов, анодным процессам до сих пор было уделено мало внимания. После разработки вакуумного выключателя и с появлением требования на прерывание все более высоких токов было установлено, что анод играет существенную роль в успешном выключении цепи. На примере экспериментальных исследований обсуждаются анодные процессы при высоких значениях тока.

Гроссман, З.; Бёме, Х.; Лёбль, Х.

О долгосрочном поведении разъемных соединений электроэнергетической техники – омическая характеристика

ELEKTRIE, Берлин 42 (1988) 4, стр. 143–149, 11 рис., 1 табл., 7 уравн., 5 лит.

Разъемные соединения стареют в зависимости от контактного материала, конструкции и условий окружающей среды и эксплуатации. Долгосрочное поведение сопротивления соединений, состоящих из гальванически серебренных контактных элементов и медных контактных элементов без серебряного покрытия, а также распределение тока на параллельные контактные элементы обсуждаются на базе результатов, полученных из многолетних экспериментальных исследований. Результаты исследований обобщаются с учетом химической кинетики реакции в зависимости от температурной нагрузки.

Dokumentation

Frank, H.; Spiegelberg, J.

Wechselspannungs-Prüfanalyse 3 MV/12,6 MVA – ein Beitrag zur Höchstspannungs-Energieübertragung

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 4, S. 125–127, 4 Bilder, 2 Tafeln, 3 Lit.

Für Grundlagenforschungen zur Drehstrom-Höchstspannungs-Energieübertragung wurde eine neue Typenreihe von Wechselspannungs-Prüfanlagen entwickelt, die gegenüber den bisher größten Anlagen dieser Art die etwa fünffache Leistung hat und zahlreiche neue Lösungen enthält. Die Maximalvariante kann zur Entwicklung von Systemen mit Übertragungsspannungen von 1800 kV und mehr eingesetzt werden.

Dietrich, M.; Rausendorf, S.

Gestaltung der Elektroden der 3-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 4, S. 127–130, 8 Bilder, 2 Gln., 8 Lit.

Ausgehend von den Kriterien zur Dimensionierung von Hochspannungselektroden wird mit Hilfe der numerischen Feldberechnung ein Elektrodensystem zur Beherrschung von 3 MV Wechselspannung effektiv unter einer Vielzahl konstruktiver Bedingungen optimiert. Es wurde ein 3-Elektrodensystem, bestehend aus Haupt- sowie oberer und unterer Steuerelektrode, ermittelt, dessen Höchstfeldstärke um 2,5 kV/cm niedriger als bei der 2,25-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage liegt.

Schrader, W.; Coors, P.

Schaltspannungszusatz zur 3-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 4, S. 131–133, 5 Bilder, 2 Tafeln

Mit dem neuentwickelten Schaltspannungszusatz für eine 3-MV-Wechselspannungs-Prüfkaskade können symmetrisch schwingende Prüfschaltspannungen bis zu 3,9 MV erzeugt werden. Besonders durch den direkten Einbau des Schaltspannungszusatzes in die Wechselspannungs-Prüfanlage, den Einsatz von Thyristor-Hochstromhaltern und die Aufladung der Energiespeicher auf Potential über die Wechselspannungs-Prüfkaskade selbst, wird neben der Erhöhung der Zuverlässigkeit die Betriebsführung wesentlich vereinfacht.

Hauschild, W.; Speck, J.; Bachmann, H.; Baronick, M.

Hard- und Software für rechnergestützte Hochspannungsprüfanlagen mit Wechsel- und Gleichspannung

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 4, S. 133–136, 8 Bilder, 14 Lit.

Ausgehend von den Anforderungen an Hochspannungsprüfungen werden Hard- und Software einer Mikrorechnersteuerung für Wechsel- und Gleichspannungsprüfanlagen beschrieben. Der Anwender wickelt Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Prüfung im Dialogbetrieb mit dem Rechner ab. Vorliegende erste Betriebserfahrungen lassen den Schluß zu, daß rechnergestützte Hochspannungsprüfungen breite Anwendung finden werden.

Pilling, J.; Lemke, E.

Zur Bemessung des Primärblitzschutzes von Umspannwerken auf der Grundlage des Streamer-Leader-Modells langer Luftfunkenstrecken

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 4, S. 136–138, 4 Bilder, 7 Gln., 5 Lit.

Blitzfangstangen für Umspannwerke werden nach dem Blitzkugelverfahren dimensioniert. Es wird vorgeschlagen, die unterschiedliche Reichweite von Fangentladungen an Stabelektroden und Leiterseilen in einem Doppelkugelverfahren zu berücksichtigen.

Hauschild, W.; Wolf, J.; Schwarz, J.

Vor-Ort-Prüfung einer SF_6-isolierten Schaltanlage mit oszillierender Blitzspannung

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 4, S. 138–141, 7 Bilder, 2 Gln., 17 Lit.

SF_6-isolierte Schaltanlagen wurden bisher nach ihrer Errichtung einer Wechselspannungsprüfung unterzogen, die durch eine Teilentladungsmessung hoher Empfindlichkeit ergänzt wurde. Zum Nachweis ortsfester Störstellen wurde erstmals eine Vor-Ort-Prüfung mit oszillierender Blitzspannung durchgeführt, die in ihrer Aussage sehr eindeutig und vorteilhaft ist. Es werden die Philosophie, Probleme und Durchführung dieser Prüfung behandelt.

Rau, R. S. N.

Anodenprozesse in Vakuum-Lichtbogen

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 4, S. 142 u. 143, 2 B., 2 Gln., 10 Lit.

Im Gegensatz zu Katodenprozessen wurden Anodenprozesse bisher wenig beachtet. Nach der Entwicklung des Vakuumschalters und mit der Forderung, immer größere Ströme zu unterbrechen, wurde festgestellt, daß die Anode eine entscheidende Rolle dabei spielt, ob ein Stromkreis erfolgreich ausgeschaltet wird oder nicht. Es werden die Anodenprozesse bei hohen Strömen an Hand von experimentellen Untersuchungen diskutiert.

Großmann, S.; Böhme, H.; Löbl, H.

Zum Langzeitverhalten von Steckverbindungen der Elektroenergietechnik – Widerstandsverlauf

ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 4, S. 143–148, 11 Bilder, 1 Tafel, 7 Gln., 5 Lit.

Steckverbindungen altern abhängig vom Kontaktmaterial, von der Konstruktion und von Umgebungs- und Betriebsbedingungen. Das Langzeitverhalten des Widerstandes von Verbindungen aus galvanisch versilberten Kontaktstücken und Kupferkontaktstücken unversilbert und die Stromaufteilung auf parallele Kontaktstücke werden an Ergebnissen, die aus mehrjährigen experimentellen Untersuchungen resultieren, diskutiert. Die Versuchsergebnisse werden über die chemische Reaktionskinetik, abhängig von der Belastungstemperatur verallgemeinert.

ELEKTRIE

Herausgeber	Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik
Verlag	VEB Verlag Technik Oranienburger Str. 13/14, Berlin, DDR, 1020 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700: Telex: 0112228 techn. dd
Verlagsdirektor	Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870345) Ing. *Günther Barth*, Redakteur (Telefon: 2870343)
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, BT Borsdorf Borsdorf, 7122
Gestalter	*Eckhardt Natorp* (Telefon: 2870287)
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigenannahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, Berlin, 1020, PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, Hermann-Duncker-Str. 89, Berlin, DDR, 1157
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Bezugsmöglichkeiten DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P. O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS, – Ústřédni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezská 11, 12000 Praha 2 PNS Ústredna Expedicia a Dovoz Tlače Praha, Posta 022, 88547 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzéće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicationes, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C.K.P.i.W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	D. E. P. Bucaresti Piata Scinteii, Bucaresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P. K. H. I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P. O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Hà Nôi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141–167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, 2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, Leipzig, DDR, 7010, Postfach 160; und Leipzig Book Service, Talstraße 29, Leipzig, DDR, 7010

Teilentladungsmeßsystem zur Kabelfehlerortung

Das Teilentladungsmeßsystem MSTE/K gestattet das sichere und unkomplizierte Erfassen der Ladungen von Teilentladungen in Hochspannungsisolierungen entsprechend geltender internationaler und nationaler Standards sowie das Lokalisieren der Fehlstellen in plastisclierten Kabeln, insbesondere bei deren Werksendprüfung.
Das Kernstück des Meß-Systems (Bild 1) bilden das Teilentladungsmeßgerät TuR-MTE 3, das nach dem von *Lemke* an der TU Dresden entwickelten breitbandigen Meßprinzip arbeitet, sowie das von Robotron-Meßelektronik gefertigte Fehlerortungsgerät robotron M 4005 mit digitaler Signalspeicherung und -verarbeitung.
Das Gerät MTE 3 verfügt, resultierend aus der Trennung zwischen breitbandiger TE-Impuls-Verstärkung und anschließender elektronischer Integration zur Impulsladung bzw. Summenimpulsladung der TE-Signale über sehr gute Voraussetzungen, die nahezu originalgetreu verstärkten TE-Signale an den Kabelenden zur korrekten Bestimmung der Laufzeiten von Fehlstellen im Kabel an den Kabelenden bereitzustellen. Durch schaltungstechnische Maßnahmen werden Reflexionen des TE-Signales an den Kabelenden wirksam unterdrückt.
Im Gerät FOG M 4005 erfolgt — durch rechnergesteuerte Bedienerführung und digitale Signalspeicherung auch für transiente Vorgänge — sehr einfach und sicher auf großem Bildschirm die digitale Auswertung heller Reflektogramme. Hierbei sind durch Sondertasten (schnelle Kursorbewegung, „Lupe“ mit 8facher Zeitdehnung, Differenzbildung u.a.) Möglichkeiten zur schnellen und exakten Auswertung gegeben.
Es verfügt über die Möglichkeit der gleichzeitigen Darstellung zweier unabhängiger Vorgänge (Bild 2) und zur Speicherung und dem wahlweisen Aufruf von maximal 4 Reflektogrammen.

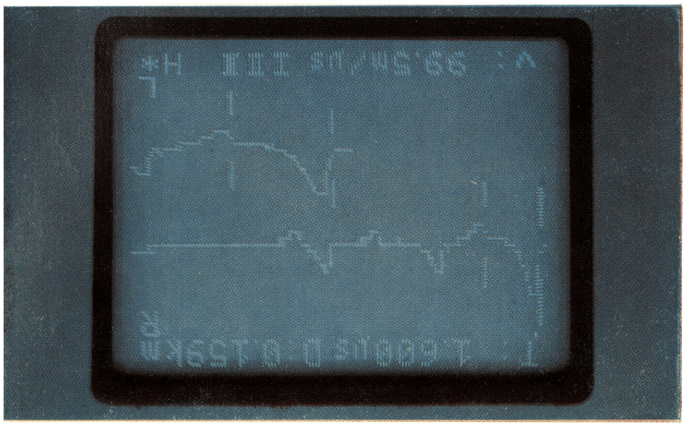
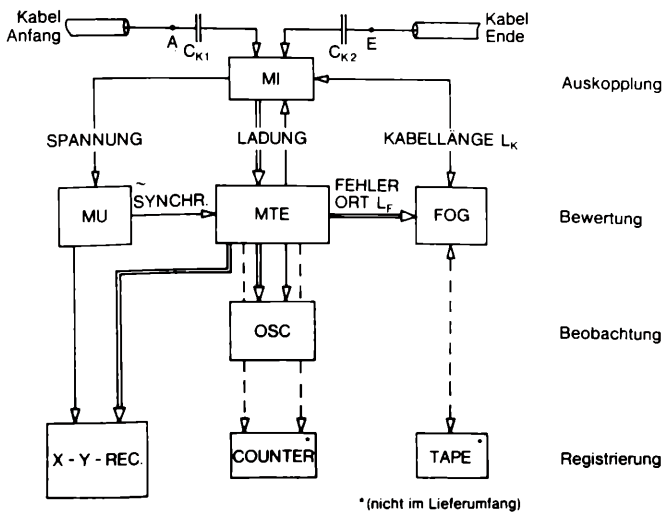


Bild 2. Fehleroszillogramm am Bildschirm des FOG M 4005

Bild 3. Blockschaltung des Meßplatzes



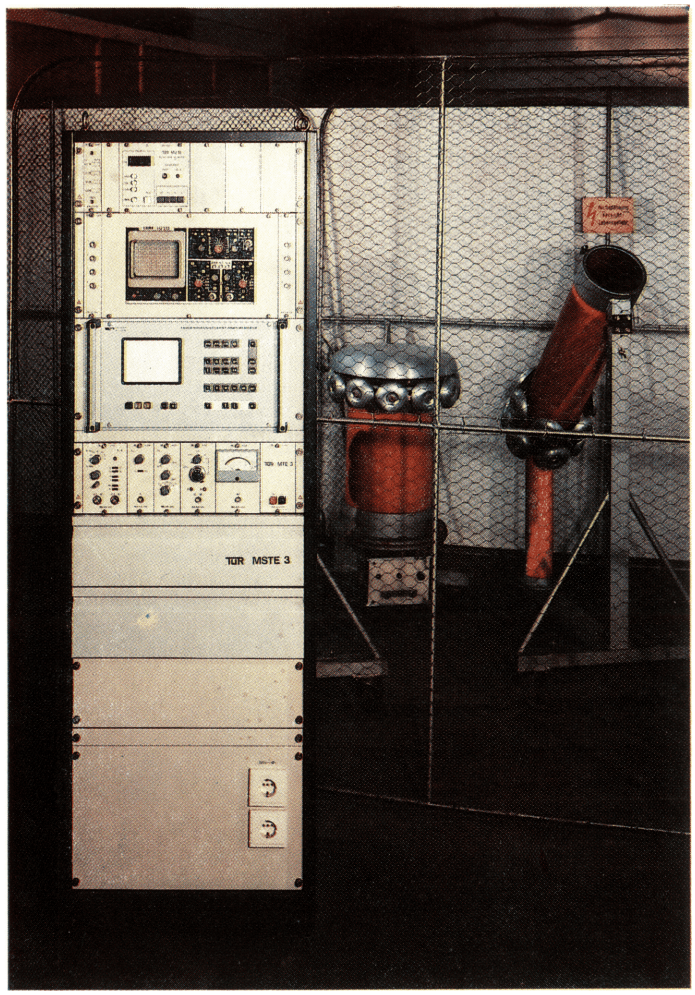


Bild 1. TuR-Teilentladungsmeßsystem zur Kabelfehlerortung

Durch die Meßimpedanz MI wird einerseits die Auskopplung der TE-Signale mit dem Koppelkondensator aus dem Prüfkreis zum Gerät MTE ermöglicht, andererseits die am Prüfling liegende Spannung geteilt und dem Peak-Voltmeter MU zugeführt (Bild 3). Drittens erfolgt mit einer Umschalteinrichtung das Ein- und Auskoppeln der Signale für die Bestimmung der elektrischen Kabel-Länge mit dem Gerät FOG M 4005.
Komplettiert wird das TE-Kabelfehler- Meß- und Ortungs-System durch ein Oszilloskop zur Darstellung der TE-Ladungsgrößen in bezug zur Zeit oder Prüfspannung (Übersichtsoszillogramm) und einen Koordinatenschreiber zur Registrierung dieser Größen zur Protokollierung der Meßergebnisse. Zur Kalibrierung dient der externe Kalibrator PET.
Natürlich kann der Anwender das TE-Meßsystem durch weitere periphere Geräte bis hin zum rechnergestützten TE-Meßplatz seinem Anwendungsfall entsprechend ergänzen.

Ihre Anfragen richten Sie bitte an:

VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern“
Betrieb des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau
Overbeckstraße 48, Dresden, 8030

Exporteur:

AHB Elektrotechnik Export-Import
Alexanderplatz (Haus der Elektrotechnik)
Berlin, 1026

ISSN 0013—539
ELEKTRIE · Be

6/30 A 122 027 465
KOMB KERAM WERKE
8612 7001 0136 AR 1

Vervollständigung des Hochspannungs-Bausteinsystems — eine permanente Aufgabe für den VEB TuR

Die vielfältigen Forderungen der Anwender, wie Höhe der Ausgangsspannung (Bild 1), geringer Raumbedarf, mechanische Stabilität und Robustheit, Erweiterungsfähigkeit waren Ausgangspunkte für die Konzeption des TuR-Hochspannungs-Bausteinsystems. Beispiele der jüngsten Entwicklung sind eine 3stufige Gleichspannungsprüfanlage GBS 8/350 (Bild 2) sowie die Verwirklichung eines neuen Gestaltungsprinzips für Hochspannungsprüfanlagen auf einer gekapselten Anordnung der Hochspannungsbausteine in einem Gestell, das zu einem Prüfschrank erweitert werden kann (Bild 3). Diese Anordnung erfüllt die Forderungen hinsichtlich Berührungs-

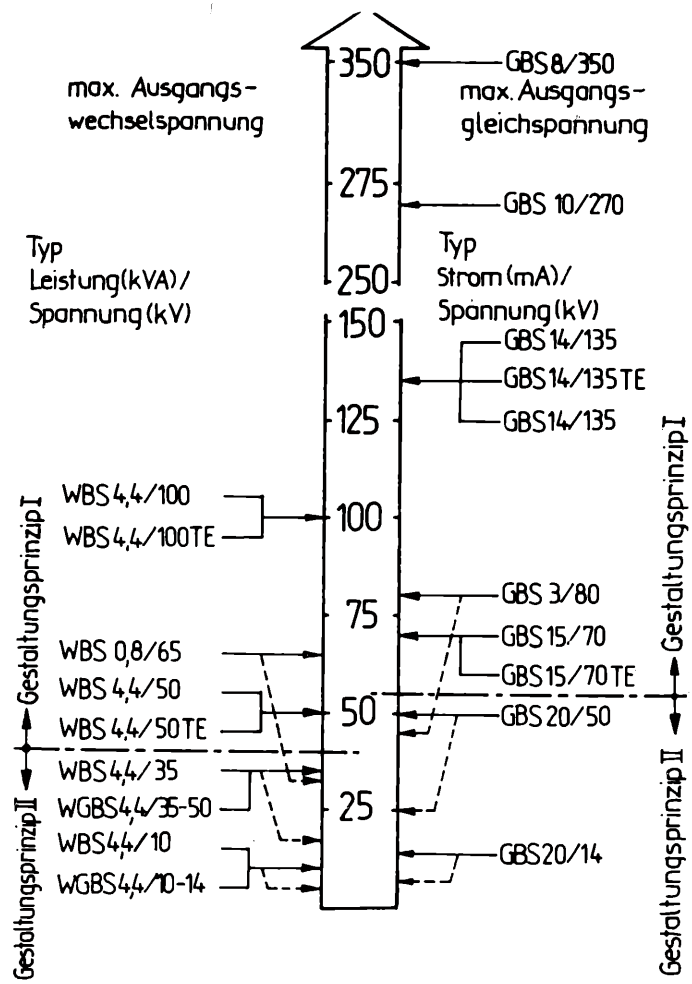


Bild 1. TuR-Hochspannungs-Bausteinsystem, Standardvariante

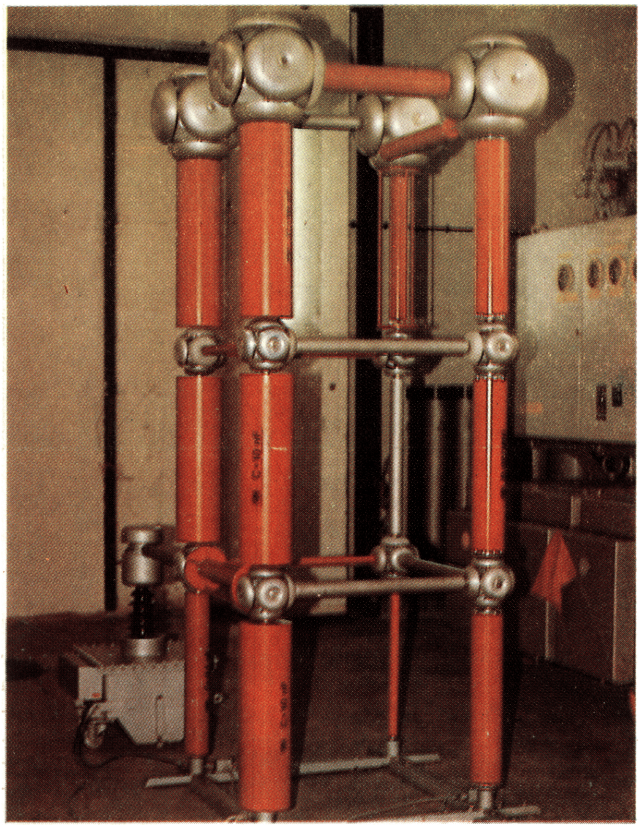
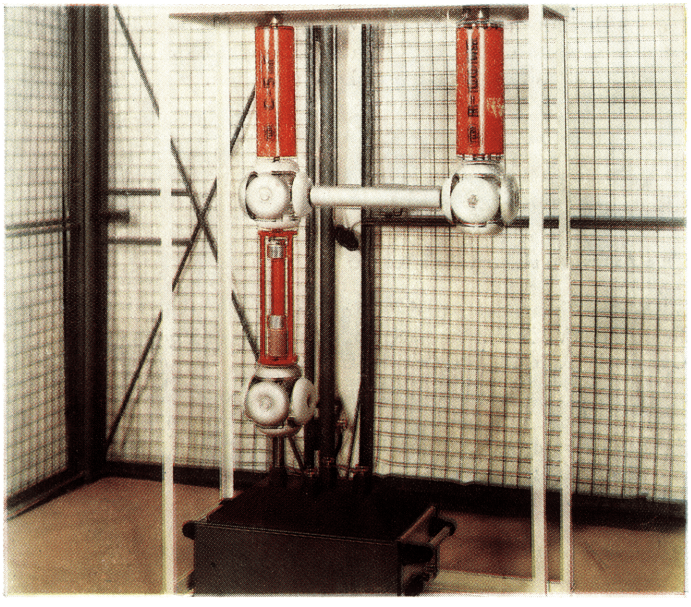


Bild 2. Vorortprüfung mit der 3stufigen Gleichspannungsprüfanlage GBS 8/350 für 350 kV/8 mA

Bild 3. Gekapselte Anodnung WGBS 4,4/35-50, mit der sowohl Wechselspannungen bis 35 kV als auch Gleichspannungen bis 50 kV erzeugt werden können



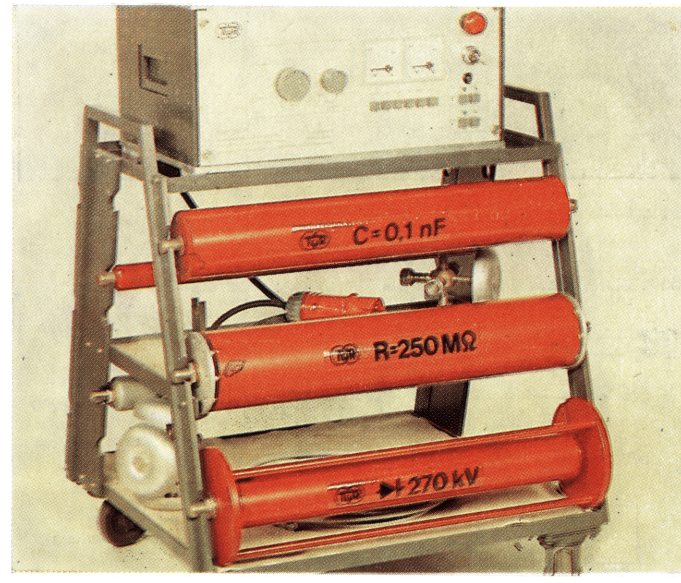


Bild 4. Baustein-Ablagewagen

schutz und hat alle nötigen Schutzeinrichtungen. Darüber hinaus steht dem Anwender ein umfangreiches Sortiment von Zusatzbausteinen zur Verfügung, z. B. ein Bauelemente-Ablagewagen (Bild 4) sowie elektrisch betätigte Erd- und Entladeschalter. Mit den Hochspannungsbausteinen sowie den Meß- und Steuergeräten kann man eine Hochspannungsprüfanlage für spezielle Prüfaufgaben selbst zusammenstellen.

Anfragen an: VEB Transformatoren- und Röntgenwerk „Hermann Matern", Overbeckstraße 48, Dresden, 8030

Exporteur: AHB Elektrotechnik Export-Import Alexanderplatz (Haus der Elektrotechnik), Berlin, 1026